**ESTUDO DA RELAÇÃO $K/(Ca+Mg)$ E DIAGNOSE POR
SUBTRAÇÃO DE P, S E MICRONUTRIENTES EM SOLOS
CALCÁRIOS DA MICRORREGIÃO DE IRECÊ-BA**

**Washington Luiz Cotrim Duete
Engenheiro Agrônomo**

Orientador: Prof. Dr. Euripedes Malavolta

**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.**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro de 1995**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Duete, Washington Luiz Cotrim

Estudo da relação K/(Ca+Mg) e diagnose por subtração de P, S e micronutrientes em solos calcários da microrregião de Irecê-BA. Piracicaba, 1995.

134p. ilus.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Feijão - Nutrição 2. Micronutriente em solo - Irecê, BA
3. Relação solo-planta - Irecê, BA 4. Solo - Química - Irecê, BA
1. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 635.652
631.41

**ESTUDO DA RELAÇÃO $K/(Ca+Mg)$ E DIAGNOSE POR
SUBTRAÇÃO DE P, S E MICRONUTRIENTES EM SOLOS
CALCÁRIOS DA MICRORREGIÃO DE IRECÊ-BA**

WASHINGTON LUIZ COTRIM DUETE

Aprovada em: 14.12.1995

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta	CENA/USP
Prof. Dr. José Carlos Chitolina	ESALQ/USP
Prof. Dr. Moacyr de O. Camponês do Brasil Sobrinho	ESALQ/USP
Prof. Dr. Braz Vitor Defelipo	UFV
Prof. Dr. Leonardo Theodoro Bull	FCA/UNESP

Prof.Dr. Eurípedes Malavolta
Orientador

Aos meus pais Antonio & Amélia

que pelo despreendimento, força, diligência, sabedoria
e sobretudo pelo imenso amor, propiciaram as
condições básicas, para que eu seguisse este
caminho.

A quem devo o que sou.

À memória do meu irmão: Luiz Alberto

Aos meus irmãos:

Tânia , Rolemberg e Robson

OFEREÇO

A minha esposa Renilda

por amor, amizade, lealdade...
sempre encorajadora e exigente do meu sucesso.

A meu filho Luiz Alberto Sobrinho

a maior felicidade e alegria de nossas vidas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela graça, pela presença e pela força constante nesta jornada.

- * À Universidade Federal da Bahia -UFB^a, pela oportunidade de realização deste curso.
- * À Universidade de São Paulo - USP, através da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo curso proporcionado.
- * Ao Professor Doutor Eurípedes Malavolta, pelas orientações seguras e pelos expressivos ensinamentos.
- * Ao Prof. Dr. Takashi Muraoka pela amizade, bom convívio e pelas colaborações nas análises de solos.
- * Ao Prof.Dr. José Carlos Chitolina, pela amizade, ajuda e contribuição.
- * Ao Prof.Dr. Antonio Enedi Boaretto e Dra Maria Fernanda Giné, pela colaboração nas análises de solo e planta, respectivamente.
- * Aos Professores Dr. Braz Vitor Defelipo, Dr. Leonardo T. Bull e Dr. Moacyr de O. Camponês do Brasil Sobrinho, pelas contribuições.
- * Ao Eng.Agr. Jairo Costa Barreto, Diretor Presidente da Empresa de Assessoria e Planejamento Agropecuário Ltda (EMAPA) pelo apoio na remessa dos solos.
- * Aos Engs. Agrs. Valfredo Dourado, Sandra Maria Ferreira Amim e Elder Manoel de Moura Rocha, pesquisadores da EBDA, pelo apoio na coleta das amostras dos solos.
- * Aos colegas Eduardo Jorge Maklouf Carvalho, Ila Cardim Rêgo, Rivaldo Vital, Manoel Cravo, Raimundo N. Assis Jr. , José Raimundo Natividade Gama, Wilson Mozena Leandro e Maria do Rosário Lobato Rodrigues, pela amizade e convívio acadêmico.
- * Aos funcionários do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) Cleusa, Henriqueta, João Salvador, Marileuza, Roberto, Sandra Genaro, Sandra Teresa e Suzineide, pelos auxílios e colaborações.
- * À Maria Aparecida Calegaro pela amizade, interesse e cuidado na digitação da tese.
- * Ao casal Antonio e Iracema Nascimento, pela gentil acolhida em Piracicaba e pelo convívio agradável.
- * À bibliotecária Marília Ribeiro Garcia Henyei, pelo apoio.
- * A todos que contribuíram, direta ou indiretamente na realização deste trabalho, expresso meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xv
RESUMO	xxiii
SUMMARY	xxv
INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Os Latossolos</i>	3
2.2. <i>Os Cambissolos</i>	4
2.3. <i>Interação entre os Cátions Potássio, Cálcio e Magnésio</i>	5
2.4. <i>Intensidade ou Potencial de Potássio ou Energia Livre de Troca</i>	8
2.5. <i>Fósforo</i>	11
2.6. <i>Enxofre</i>	14
2.7. <i>Boro</i>	15
2.8. <i>Cobre</i>	17
2.9. <i>Ferro</i>	18
2.10. <i>Manganês</i>	19
2.11. <i>Zinco</i>	20

3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1.	<i>Localização dos Ensaios.....</i>	22
3.2.	<i>Caracterizações Físicas, Mineralógicas e Químicas das Amostras.....</i>	23
3.2.1.	Análise Granulométrica	23
3.2.2.	Análise Mineralógica	23
3.2.3.	Análise Química do Solo	23
3.3.	<i>Experimentos em Casa de Vegetação.....</i>	25
3.3.1.	Delineamento Experimental e Análise Estatística	25
3.3.1.1.	<i>Estudo da Relação K/(Ca+Mg)</i>	<i>25</i>
3.3.1.2.	<i>Diagnose de P, S e Micronutrientes.....</i>	<i>27</i>
3.3.2.	Instalação e Condução dos Experimentos	27
3.3.2.1.	<i>Estudo da Relação K/(Ca+Mg)</i>	<i>27</i>
3.3.2.2.	<i>Diagnose de P, S e Micronutrientes.....</i>	<i>31</i>
3.3.3.	Análise Química dos Solos	32
3.3.3.1.	<i>Estudo da Relação K/(Ca+Mg)</i>	<i>32</i>
3.3.3.2.	<i>Diagnose de P, S e Micronutrientes.....</i>	<i>34</i>
3.3.4.	Análise Química do Material Vegetal.....	34
3.3.4.1.	<i>Estudo da Relação K/(Ca+Mg)</i>	<i>34</i>
3.3.4.2.	<i>Diagnose de P, S e Micronutrientes.....</i>	<i>35</i>

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1.	<i>Características Físicas, Mineralógicas e Químicas dos Solos.....</i>	36
4.1.1.	Análises Granulométricas	36
4.1.2.	Análises Mineralógicas	37
4.1.3.	Análises Químicas.....	48
4.2.	<i>Estudo da Relação K/(Ca+Mg) no Solo</i>	53
4.2.1.	Produção de Grãos e Matéria Seca, Teores e Conteúdos de K, Ca, Mg, nas folhas, e nos Grãos do Feijoeiro em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos.....	53
4.2.1.1.	<i>Produção de Grãos e Matéria Seca.....</i>	53
4.2.1.2.	<i>Teores de K, Ca e Mg nas Folhas do Feijoeiro.....</i>	56
4.2.1.3.	<i>Teores e Conteúdos de K, Ca e Mg nos Grãos do Feijoeiro em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos.....</i>	64
4.2.2.	Potencial de K em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos	67
4.2.3.	Teores de K, Ca e Mg Trocáveis Recuperados Antes e Após o Cultivo dos Solos em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos	79

4.3. <i>Diagnose por Subtração de Fósforo Enxofre e Micronutrientes</i>.....	81
4.3.1. Produção de Grãos e Matéria Seca.....	81
4.3.2. Teor e Conteúdo de Fósforo.....	87
4.3.3. Teor e Conteúdo de K, Ca e Mg.....	88
4.3.4. Teores e Conteúdos do Enxofre	89
4.3.5. Teor e Conteúdo de Boro	97
4.3.6. Teor e Conteúdo de Cobre	97
4.3.7. Teor e Conteúdo de Ferro	98
4.3.8. Teor e Conteúdo de Manganês	98
4.3.9. Teor e Conteúdo de Zinco.....	99
4.3.10. Valores de Macro e Micronutrientes Recuperados Antes e Após o Cultivo dos Solos em Função dos Tratamentos Aplicados	106
5. CONCLUSÕES	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Difratograma de raio X da fração silte do Latossolo Vermelho Amarelo	38
2	Difratograma de raio X da fração silte do Latossolo Amarelo.....	39
3	Difratograma de raio X da fração silte do Cambissolo Vértico.....	40
4	Difratograma de raio X da fração silte do Cambissolo Latossólico.....	41
5	Difratograma de raio X da fração argila do latossolo Vermelho Amarelo	44
6	Difratograma de raio X da fração argila do Latossolo Amarelo.....	45

7	Difratograma de raio X da fração argila do cambissolo	
	Vértico.....	46
8	Difratograma de raio X da fração do Cambissolo	
	Latossólico.....	47
9	Teores de K nas folhas do feijoeiro (na floração), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo	
	Vértico.....	58
10	Teores de K nas folhas do feijoeiro (final do ciclo), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo	
	Vértico.....	58
11	Teores de K nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo	
	Latossólico.....	59
12	Teores de K nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo	
	Latossólico.....	59

13	Teores de Ca nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo.....	62
14	Teores de Ca nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo.....	62
15	Teores de Mg nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo Vértico.....	63
16	Teores de Mg nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Cambissolo Vértico.....	63
17	Teores de Ca nos grãos do feijoeiro, em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo.....	66
18	Quantidade de Ca nos grãos do feijoeiro, em função das relações $K/(Ca+Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo	66

19	Potencial de potássio ($pK-0,5p\ (Ca+Mg)$), antes e após o cultivo do solo em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Latossolo Vermelho Amarelo	71
20	Energia livre de troca $\overline{\Delta G}\ (1364\ \log\ (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)}))$ antes e após o cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Latossolo Vermelho Amarelo	71
21	Potencial de potássio ($pK-0,5\ p\ (Ca+Mg)$), antes do cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Latossolo Amarelo.....	72
22	Potencial de potássio ($pK-0,5\ p\ (Ca+Mg)$), após o cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Latossolo Amarelo	72
23	Energia livre de troca $\overline{\Delta G}\ (1364\ \log\ (AK/\sqrt{a(Ca + Mg)}))$ antes do cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Latossolo Amarelo.....	73

24	Energia livre de troca $\overline{\Delta G}$ ($1364 \log (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) após o cultivo do solo em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no Latossolo Amarelo.....	73
25	Potencial de potássio (pk-0,5 p (Ca+Mg)), antes do cultivo do solo, em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no Cambissolo Vértico	74
26	Potencial de potássio (pK-0,5p (Ca+Mg)), após o cultivo do solo, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no Cambissolo Vértico	74
27	Energia livre de troca $\overline{\Delta G}$ ($1364 \log (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes do cultivo do solo, em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no Cambissolo Vértico.....	75
28	Energia livre de troca $\overline{\Delta G}$ ($1364 \log (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) após o cultivo do solo em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no Cambissolo Vértico.....	75

29	Potencial de potássio ($pK-0,5p (Ca+Mg)$, antes do cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Cambissolo Latossólico	76
30	Potencial de potássio ($pK - 0,5 p (Ca+Mg)$), após o cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no cambissolo Latossólico	76
31	Energia livre de troca $\Delta \overline{G} (1364 \log aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$ antes do cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no cambissolo latossólico	77
32	Energia livre de troca $\Delta \overline{G} (1364 \log aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$ após o cultivo do solo, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no Cambissolo Latossólico.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Níveis de K, Ca, Mg e valores das relações Ca/Mg	26
2	Valores médios de potássio, cálcio e magnésio (mmol _e /dm ³), relações Ca/Mg e K/(Ca+Mg), percentagem de potássio, cálcio e magnésio na CTC dos solos estudados	29
3	Percentagens de saturação de potássio na CTC, níveis de potássio a ser atingidos (mmol _e /dm ³) e quantidades de potássio e magnésio adicionadas em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL	30
4	Doses de potássio e magnésio em mmol _e /dm ³ e de KCl e MgCl ₂ em g/vaso usadas na incubação do ensaio.....	31

5	Valores médios de potássio, cálcio e magnésio (mmol/dm ³), relações Ca/Mg e K/(Ca+Mg) atingidos para os solos LVA, LA, CV e CL.....	33
6	Análise granulométrica das amostras dos solos estudados	37
7	Composição mineralógica qualitativa das amostras dos LVA, LA, CV e CL estudados	42
8	Características químicas das amostras dos solos estudados	49
9	Análise química de micronutrientes das amostras dos solos estudados	52
10	Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso), para cultura do feijoeiro, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL	55

11	Teores médios de potássio, cálcio e magnésio (g/kg) nas folhas do feijoeiro, na floração e no final do ciclo da cultura, em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no LVA, LA, CV e CL.....	57
12	Valores médios de potássio, cálcio e magnésio em teor (g/kg) e conteúdo (mg/vaso) nos grãos do feijoeiro, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL	65
13	Potencial de potássio ($pK-0,5p(Ca+Mg)$), e energia livre de troca $\Delta\bar{G}$ ($1364 \log (ak/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes e após o cultivo dos solos, em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no LVA, LA, CV e CL.....	69
14	Valores médios de potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm ³), recuperados antes e após o cultivo dos solos, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL.....	80

15	Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso) para cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	85
16	Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso), para cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	86
17	Produção relativa de grãos em função dos tratamentos aplicados no LVA, LA , CV e CL.....	87
18	Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	91
19	Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	92

20	Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg), nos grãos do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	93
21	Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg), nos grãos do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	94
22	Quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (mg/vaso) exportados nos grãos pela cultura do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA	95
23	Quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (mg/vaso) exportados nos grãos pela cultura do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	96
24	Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA	100

25	Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.....	101
26	Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg), nos grãos do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	102
27	Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg), nos grãos do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	103
28	Quantidade de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (μ g/vaso), exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	104
29	Quantidade de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (μ g/vaso), exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	105

30	Valores médios de fósforo disponíveis (mg/dm^3), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm^3), recuperados antes do cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no LVA, LA e CL	108
31	Valores médios de fósforo disponíveis, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm^3) e potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm^3), antes do cultivo do LVA, LA, CV e CL.....	109
31	Valores médios de fósforo e enxofre disponíveis (mg/dm^3), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm^3), recuperados após o cultivo dos solos em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.....	110
32	Valores médios de fósforo e enxofre disponíveis (mg/dm^3), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm^3), recuperados após o cultivo dos solos em função dos tratamentos aplicados no CV e CL	111

34	Valores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm ³), recuperados após o cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.....	112
35	Valores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm ³), recuperados após o cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA	113

ESTUDO DA RELAÇÃO $K/(Ca+Mg)$ E DIAGNOSE POR SUBTRAÇÃO DE P, S E MICRONUTRIENTES EM SOLOS CALCÁRIOS DA MICRORREGIÃO DE IRECÊ-BA

Autor: Washington Luiz Cotrim Duete
Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

RESUMO

O presente trabalho teve como propósito caracterizar física, química e mineralogicamente quatro solos calcários da microrregião de Irecê-Bahia: um Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), um Latossolo Amarelo (LA), um Cambissolo Vértico (CV) e um Latossolo Cambissólico (CL); como também, estudar preliminarmente a influência de diferentes relações $K/(Ca+Mg)$ do solo e a diagnose por subtração de fósforo, enxofre e micronutrientes, na produção de grãos, matéria seca de folhas, raízes, caule + ramos, vagem e total, e na absorção desses nutrientes por planta de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.); verificar a influência do potencial de potássio ($pK-0,5p(Ca+Mg)$) do solo na absorção de potássio, cálcio e magnésio pelo feijoeiro; encontrar uma relação nutricional entre os níveis de K e de $Ca+Mg$ do solo para o melhor desenvolvimento da cultura; investigar se o P, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn são limitantes ao crescimento do mesmo e medir essas limitações verificando possíveis interações nutricionais no sistema solo-feijoeiro.

O estudo constituiu na instalação de dois experimentos em casa de vegetação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em vaso com capacidade de $1,5 \text{ dm}^3$, utilizando amostras superficiais de 0-20 cm dos quatro solos citados.

Os experimentos foram conduzidos obedecendo-se um delineamento inteiramente casualizado. No estudo da relação $K/(Ca+Mg)$ envolveu-se oito relações com três repetições para o LA, CV e CL e apenas quatro

relações com seis repetições para o LVA. Para que estas relações fossem atingidas, os solos receberam quantidades determinadas de cloreto de potássio e cloreto de magnésio, todas drogas pró-análise, e deixados em incubação por um período de 30 dias, mantendo-se a umidade em torno de 80% da capacidade de campo. Na diagnose por subtração utilizaram-se nove tratamentos com três repetições, sendo o LVA incubado com cloreto de potássio, o LA e CL com cloreto de potássio e cloreto de magnésio e para o CV não utilizaram-se nutrientes na incubação. Após o período de incubação, foram coletadas amostras de terra para análise química e, em seguida, adubados segundo MALAVOLTA & MURAOKA (1985), observando na diagnose por subtração que a omissão de um nutriente implicou na completa ausência deste na adubação de plantio. Quarenta dias após a emergência, foi realizada a colheita, os grãos e a parte aérea foram secos, pesados e, juntamente com as amostras de solos, foram submetidos à análise química. Com os valores de produção de matéria seca, dos nutrientes recuperados do solo e dos nutrientes absorvidos, em função dos tratamentos aplicados no solo, realizaram-se análise de variância, testes de médias e estabeleceram-se equações de regressão.

A produção do feijoeiro, tanto em grãos como em matéria seca de suas partes, não foi influenciada pelas relações $K/(Ca+Mg)$, bem como, pela mudança da relação Ca/Mg do solo, em ambos os solos.

Os valores de potencial de potássio e energia livre de troca no solo ($\Delta\bar{G}$), não se enquadram aos limites de equilíbrio adequado entre cálcio e potássio e aos de deficiência de qualquer destes nutrientes sugerido pela literatura, dando a entender serem outros valores para solos calcários.

As equações de regressões entre os valores de $K/(Ca+Mg)$ no solo e os dados de potencial de potássio e $\Delta\bar{G}$, apresentaram antes do cultivo modelos altamente significativos, alcançando coeficientes de determinação (R^2) alto. Todavia, após o cultivo obtiveram-se correlações não significativas.

O crescimento e a produção de grãos do feijoeiro, foram afetados no LVA pela omissão de P, S, Cu e Fe. No LA pela omissão de P e S. Já no CV pela omissão de P, S, Cu, Mn e Zn. E no CL pela omissão de P, S, Mn e Zn.

STUDY OF THE K/Ca+Mg RATIO AND OF DIAGNOSIS BY SUBTRACTION OF P, S AND MICRONUTRIENTS IN CALCAREOUS SOILS OF THE IRECÊ, BA MICRO REGION

Author: Washington Luiz Cotrim Duete

Adviser: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

SUMMARY

The present work had the following objectives: to characterize from the physical, chemical and mineralogical points of view four calcareous soils from the Irecê, BA, microregion, namely a Red Yellow Latosol (LVA), a Yellow Latosol (LA), a Vertic Cambisol (CV) and a Cambic Latosol (CL); to evaluate the effects of the K/Ca+Mg ratios on growth yield, and mineral composition of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plant under greenhouse conditions; to find out the effect of the omission of P, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn on the production and mineral composition of the bean plant, also under greenhouse conditions; to assess the influence of the K potential on the uptake of potassium by the bean plants.

In the study of the K/Ca+Mg ratios eight ratios with three replicates were established for the LA, CV and CL, and only four ratios with six replicates in the case of LVA. In order to reach the desired ratios the soils were treated with the chlorides of potassium and magnesium and incubated with these soils during 30 days under 80% of the field capacity. A completely randomized design was used. In the experiment using the diagnosis by subtraction technique there were nine treatments with three replicates; the LVA was incubated with KCl, the LA and the CL with both K and Mg chlorides, and no additions in the incubation of CV. After the incubation period soil samples were collected for analyses and the adequate treatments were applied. Growth, yield data and figures for mineral composition were subject of statistical analyses, variance and regression whenever applicable.

Main conclusions were as follows: bean yield was not affected neither by the K/Ca+Mg nor Ca/Mg in the soil; the values for potassium potential

and free energy of K do not agree with those found in the literature which suggests that in the case of calcareous soils they do not fit; coefficients of determination (R^2) highly significant were obtained in the determinations of $K/(Ca+Mg)$; K potencial and ΔG before growing the bean plants. After harvest, however, correlations were not significant bean production was affected by the lack of P and S in the LVA; omission of P and S induced yield in the LA; P, S, Cu, Mn and Zn were limiting in the CV; in the case of CL the elements P, S and Mn caused inductions in yield.

INTRODUÇÃO

O feijão é um dos mais importantes grãos para alimentação do povo brasileiro, pois constitui a principal fonte de proteína vegetal, em média, de 24% (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1981), podendo substituir, parcialmente, a proteína das carnes, motivo pelo qual o feijoeiro é cultivado em todo o território nacional.

É considerada uma cultura de alto risco, sensível às adversidades climáticas que, eventualmente, ocorrem no período de seu desenvolvimento e ao ataque de pragas e doenças. É uma cultura que recebe poucos incentivos e, em consequência, pequenas quantidades de corretivos e fertilizantes são aplicados, quando comparadas com as culturas de expressão econômica, pois os pequenos agricultores, que são os maiores responsáveis pela produção brasileira de feijão, pouco se beneficiam desses incentivos, por falta de maior representação frente a estabelecimentos de crédito, assistência técnica, comercialização e seguro agrícola (GUAZZELLI, 1983).

A microrregião de Irecê-BA, como grande parte do nordeste brasileiro, do ponto de vista fisiográfico, caracteriza-se pela presença de um clima tipo semi-árido com precipitações pluviométricas irregulares, portanto, secas periódicas, atuando sobre um mosaico de solos extremamente variado, alguns com excelente fertilidade natural (Cambissolos e Latossolos do platô de Irecê), outros de difícil manejo, como os solos rasos e pedregosos. O relevo também varia bastante, assim como a vegetação, podendo, entretanto, observar-se uma certa relação entre as variáveis naturais (solo, clima, relevo, vegetação), na composição da paisagem.

A região é bastante conhecida pelo potencial agrícola e se caracteriza por uma alta produção de feijão, abastecendo inclusive o mercado nacional, nos anos considerados climaticamente normais. Essa alta produção é

alternada por ano de frustração agrícola, quando as condições climáticas não correspondem à expectativa, gerando uma instabilidade na produção, com reflexos sociais e econômicos os mais diversos.

A microrregião de Irecê-BA, está situada na MRH-135, Chapada Diamantina Setentrional, no centro do Estado da Bahia, e é responsável aproximadamente por 50% da área colhida de feijão em todo o Estado. Contudo, os rendimentos atingidos são muito baixos e vem caindo com o decorrer dos anos, à despeito do aumento da área colhida. Como exemplo, nos anos 89, 90 e 91 obteve-se em área colhida de 6.176, 8.382 e 8.339 ha produções de 1.668, 4.191 e 1.834 t, com um rendimento médio de 270, 500 e 220 kg/ha respectivamente (EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA BAHIA, 1985).

Observando as análises químicas dos perfis de solos da região, supõe-se que, quanto à química e fertilidade do solo, o desequilíbrio entre os cátions (Ca, Mg e K), o baixo teor de fósforo e enxofre em alguns solos e possíveis problemas com micronutrientes, serem os responsáveis pelos baixos rendimentos atingidos. Sob tais condições, o presente trabalho foi desenvolvido, com os objetivos de:

1. Estudar a influência de diferentes relações $K/(Ca+Mg)$ do solo na produção de grãos, matéria seca e na absorção de potássio, cálcio e magnésio pelo feijoeiro.
2. Observar a influência do potencial de potássio do solo na produção de grãos, matéria seca e na absorção de potássio, cálcio e magnésio pelo feijoeiro.
3. Encontrar uma relação nutricional entre os níveis de potássio e os níveis de cálcio + magnésio do solo para o melhor desenvolvimento do feijoeiro.
4. Determinar se P, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn são limitantes ao crescimento do feijoeiro. Medir essas limitações e verificar possíveis interações nutricionais no sistema solo-feijoeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A microrregião de Irecê, situada na MRH-135, Chapada Diamantina Setentrional, no centro do Estado da Bahia, do ponto de vista topográfico é uma chapada irregular, cujas altitudes variam de 600 a 800 m, entre as coordenadas 41°00' e 42°00' de longitude oeste e 11°00' e 12°00' de longitude sul. É uma área de ocorrência dos calcários, dolomitos e ardósias que compõem o Grupo Bambuí. No topo da chapada, existem apenas elevações com afloramentos de calcários truncados exibindo lineações. Nos locais onde o calcário aflora com mergulho subvertical, finamente estratificado, as alterações apresentam-se espessas, acinzentadas e esbranquiçadas, tendo localmente crostas secundárias ou mesmo linhas de concreções de carbonato de cálcio, sendo algumas silinificadas no topo. Encontram-se aí solos do tipo Latossolos e Cambissolos (EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA BAHIA, 1985).

2.1. Os Latossolos

Estes solos formam os grandes chapadões, com relevo suave, mas, em geral, com grandes problemas de fertilidade. Ocorrem também em áreas acidentadas, mas com poucos afloramentos de rochas (RESENDE *et al.*, 1988).

O teor de argila pode variar bastante nestes solos, o que possibilita a sua diferenciação textural (fases) em textura média, com teor de argila no horizonte B variando de 15 a 35%, textura argilosa variando de 35 a 60%, e muito argilosa maior que 60%.

Apresentam baixa relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki) na fração argila, normalmente inferior a 2,0, sendo raros os casos em que atinge 2,2, indicando alto

grau de intemperização da massa do solo; baixa capacidade de permuta de cátions (valor T) da fração argila, em decorrência do material do solo ser constituído por sesquióxidos, minerais de argila 1:1 (grupo da caulinita), quartzo e outros minerais altamente resistentes ao intemperismo; minerais primários facilmente decomponíveis ausentes ou mesmo presentes em quantidades muito pequena.

Por se encontrar nas áreas de ocorrências dos calcários (material de origem rico em bases), sob clima do tipo semi-árido, possuem saturação de bases maior que 50% (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1988).

2.2. Os Cambissolos

Esta unidade compreende solos com B incipiente ou câmbico, não hidromórficos, com pequena diferenciação de textura do horizonte A para o B. Não possuem acumulação de argila iluvial que permita classificá-los como solos com horizonte B textural. Muitas vezes, apresentam características morfológicas e mesmo químicas similares às dos Latossolos, porém, deles diferenciam-se por apresentarem altos teores de silte em relação à argila e/ou maior proporção de minerais primários facilmente intemperizáveis (RESENDE *et al.*, 1988).

Possuem relação molecular Ki ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) e relação silte/argila com valores médios ou altos em alguns solos e baixos em outros; quando desenvolvidos de rochas carbonatadas podem apresentar carbonatos livres, desde a superfície dos solos, ou acumulados nos horizontes subsuperficiais.

Estes solos no estado da Bahia, apresentam sequência de horizontes A, (B), C e R, com horizontes A fraco, moderado e até chernozêmico; textura média e argilosa; rasos e profundos; moderadamente e bem drenados, ocorrendo, no entanto, perfis imperfeitamente drenados.

A maior parte dos cambissolos compreende solos eutróficos (saturação de bases superior a 50%), principalmente na zona semi-árida (Irecê), ocorrendo também solos distróficos (saturação de bases inferior a 50%), principalmente na zona cacauzeira (sul da Bahia) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1988).

Estes cambissolos baianos, da chapada do Apode (RN e CE) e do Norte de Minas Gerais, são originados de rochas calcárias, possuem relevo plano e apresentam certa deficiência de oxigênio, além de apresentarem altos teores de manganês.

Apesar de serem eutróficos, os teores de fósforo são baixos. Devido ao relevo plano e à baixa permeabilidade do material em função da presença de argila de atividade alta, estes sistemas são considerados conservadores de nutrientes (ERNESTO SOBRINHO, 1980).

2.3. *Interação entre os Cátions Potássio, Cálcio e Magnésio*

Um dos primeiros pesquisadores a observar uma interação negativa entre os cátions, PIERRE & BOWER (1943), que atribuiu as baixas produções de trigo mourisco ao decréscimo na absorção de potássio em decorrência da aplicação de doses elevadas de calcário; segundo o autor, o cálcio apresentava um efeito antagônico sobre a absorção de potássio, chamando a atenção para a importância do equilíbrio cálcio-potássio na nutrição das plantas. A partir da formulação da “Lei da potassa-calcário” por Ehremberg em 1919, foi estimulado o estudo sobre as interações entre o K, Ca e Mg.

DUETE (1993) trabalhando com solos do Recôncavo da Bahia, observou que o Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólico Vermelho Amarelo com teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis ($\text{meq}/100 \text{ cm}^3$) de 0,15; 0,7; 0,2 e 0,16; 2,3; 4,8 respectivamente, não responderam ao potássio aplicado na produção de matéria seca do feijoeiro. Todavia, o Brunizem Avermelhado com teores de potássio, cálcio e magnésio trocáveis ($\text{meq}/100 \text{ cm}^3$) de 0,23; 14,9; 9,1 respectivamente, considerados satisfatórios, responderam a aplicação de potássio. Segundo o autor apesar do alto teor de potássio encontrado neste solo, é provável que a resposta encontrada tenha sido devido a relação entre o potássio e os outros cátions (Ca^{2+} e Mg^{2+} , em particular).

Em razão dos teores de potássio trocável do solo não explicar completamente o que está ocorrendo, é que nos últimos anos, a maioria dos trabalhos nesta linha é baseado na lei da relação de Schofield que governa o equilíbrio de cátions na solução do solo.

Segundo MALAVOLTA (1976), o antagonismo iônico entre o potássio, cálcio e magnésio, é antes de tudo, resultado de uma competição iônica na solução do solo. Todavia, para FASSBENDER (1972), independentemente das bases trocáveis, devem-se levar em consideração o grau de saturação do complexo de troca, os tipos de coloides, a natureza dos íons complementares adsorvidos e as relações entre os íons nutrientes do solo, visto que esses fatores fornecem informações da capacidade do solo em nutrir as plantas.

MEDVEDEVA (1968), PATHAK & KABRA (1972) e SOARES (1975) encontraram em suas pesquisas, evidências claras que o antagonismo entre potássio-cálcio é mais intenso que a ação antagônica entre potássio-magnésio. Estas conclusões tem apoio nos estudos de ALBAREDA (1958) que acredita ser a capacidade de penetração dos cátions nas raízes, as quais seguem a relação $K > Na > Mg > Ca$, a razão do maior antagonismo entre os cátions potássio-cálcio do que entre potássio-magnésio. Pois, a combinação de dois íons deve alcançar uma ação antagônica, tanto maior quanto mais separado estiverem entre si.

Vale ressaltar que, segundo CORDEIRO (1978), tanto o Ca como o Mg podem deprimir a absorção de K, como este também pode deprimir a absorção dos outros dois cátions pelas plantas. Também sob certas condições, o Ca e o Mg podem, por sua vez, estimular a absorção de K.

SOARES *et al.* (1983) chama atenção para o efeito estimulante do cálcio sobre a absorção de potássio, que é observado quando o cálcio está em baixas concentrações, todavia, aumentando a concentração do cálcio, o efeito estimulante diminui até ocorrer antagonismo entre esses cátions, passando ocorrer redução na absorção de potássio pelas plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por SANCHES CONDE (1980) estudando as relações K/Ca (1/1; 1/2; 1/4; 1/6; 1/8) com alface em solução nutritiva.

Da mesma forma altas concentrações de potássio reduziram a absorção de cálcio e magnésio para as culturas de aveia, feijão e girassol (BRADAWY & BUSSLER, 1968; PANDEI, 1972).

Também redução significativa na concentração de Ca e K foi observada por KEY & KURTZ (1960) em plantas de soja proporcionais ao aumento na absorção de Mg.

Por outro lado OMAR & KOBIA (1966), trabalhando com concentrações diferentes de potássio e magnésio na cultura de alfafa em solução

nutritiva, observaram que a absorção de magnésio foi reduzida quando se aumentava as concentrações de potássio, por outro lado a absorção de potássio pouco foi afetada pela presença do magnésio.

BULL (1986) estudando a produção de matéria seca por gramínea e leguminosa forrageira em função das relações $K/(Ca+Mg)$ no solo, observou que tanto a gramínea como a leguminosa apresentaram aumentos nos valores da relação $K/(Ca+Mg)$ na matéria seca, proporcionais à elevação dessas relações em ambos os solos, todavia, o aumento na absorção de potássio em função da elevação nas relações $K/(Ca+Mg)$ nos solos, promoveram decréscimos proporcionais na absorção de $Ca+Mg$ em todas as culturas. Segundo o autor a leguminosa cultivada isoladamente apresentou decréscimo na produção de matéria seca apenas na maior relação $K/(Ca+Mg)$ de cada solo, sugerindo que a relação entre 1/25-1/20 são as mais apropriadas para o cultivo isolado da leguminosa estudada.

Para SOARES *et al.* (1988) as relações $Ca:Mg:K$ de 12:3:1 com saturação em bases de 80% promoveram as maiores produções de grãos de trigo por vaso, no entanto a melhor saturação de potássio no complexo de troca do solo foi de 5%.

Para WIKLANDER (1964), um solo ideal para as culturas teria 65% do complexo de troca saturado com Ca^{2+} , 10 a 15% com Mg^{2+} e 5% com K^+ .

Segundo BOYER (1971), nos solos relativamente bem dotados em bases, carências de K pode aparecer com o teor de K inferior a 2% da soma das bases trocáveis. Com alta saturação de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos solos, a absorção do K é limitada e pode, até mesmo, acarretar deficiências (YORK *et al.*, 1954; EVANS, 1955; MOURA FILHO, 1965).

LAROCHE (1966), afirma que as relações Ca^{2+}/Mg^{2+} , Mg^{2+}/K^+ e $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+$ ideais para o cacauzeiro devem ser respectivamente 4,0; 8,0 e 40,0. Também estudando os efeitos dos equilíbrios entre Ca, Mg e K no crescimento do cacauzeiro, MORAIS & CABALA (1971) concluíram que os rendimentos da matéria seca das plântulas de cacau estão mais bem relacionados com os valores da relação $(Ca+Mg)/K$ que com a relação Mg/K .

Para BRICENO & CARVAJAL (1973), quando a relação $(Ca+Mg)/K$ do solo for maior que 10, tal relação deve ser considerada como valor baixo para o potássio.

Estudando o efeito da adubação potássica no algodoeiro, FUZZATO & FERRAZ (1967) verificaram que a relação entre os teores trocáveis de Ca e K no solo mostrou-se como principal fator para explicar os efeitos provocados pela adubação potássica. Para valores de $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$ acima de 20, houve aumentos consideráveis na produção em decorrência da aplicação de potássio e estes aumentos foram tanto maiores quanto maior o valor dessa relação, por outro lado, valores da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$ abaixo de dez estavam associados a respostas insignificantes ou frequentemente negativas da adubação potássica.

BOYER (1971) relatou que, se um solo contém muito K e pouco Mg, as plantas absorvem muito K e pouco Mg. De certo modo, acontece a mesma coisa com a soma de Ca+Mg. Segundo esse autor, as relações Mg/K e Ca+Mg/K não foram, infelizmente, objeto de estudos sistemáticos; o problema é complicado pelo fato de não serem essas relações as mesmas para todas as plantas, podendo um fornecimento de fertilizantes desequilibrar as relações.

2.4. *Intensidade ou Potencial de Potássio ou Energia Livre de Troca*

A quantidade de potássio disponível no solo, indica quanto potássio pode ser absorvido e até onde é possível restaurar o reservatório da solução do solo diminuído pelo poder de extração das plantas, elevando-o a um nível satisfatório (MALAVOLTA, 1976).

Segundo SOARES (1978), tem sido sugerido o uso da relação entre as atividades do potássio para a do cálcio ou do cálcio + magnésio como um parâmetro de intensidade em lugar da atividade absoluta de potássio na solução do solo, isto porque o cálcio e o magnésio são os dois íons contrários mais importantes no processo de troca e na absorção do potássio.

O relacionamento entre os cátions potássio, cálcio e magnésio e suas absorções pelas plantas, segundo TISDALE & NELSON (1975) envolve o fenômeno conhecido como “efeito do íon complementar”, que é definido como a influência de um íon adsorvido sobre a liberação, para a solução do solo, de um outro a partir da superfície trocadora.

O conceito de potencial de potássio-cálcio, baseado em considerações dinâmicas, introduzidas por WOODRUFF (1955b), é definido como

uma relação entre as atividades do ion potássio e do ion cálcio de uma solução do solo em equilíbrio com a fase sólida, obtida com uma solução de 0,01M de cloreto de cálcio. E isto sugeriu, que a relação entre as atividades representava a energia livre de troca de cálcio pelo potássio, caracterizando o estado do potássio no solo, desde que o cálcio fosse o ion trocável dominante e o potássio de troca, a fonte principal desse elemento.

A expressão que calcula a energia livre de troca, é representada pela seguinte fórmula:

$$\Delta \bar{G} = RT \ln aK / \sqrt{aCa}$$

$\Delta \bar{G}$ = Energia livre (calorias por equivalente grama)

R = constante geral dos gases

T = temperatura absoluta

aK = atividade de potássio

aCa= atividade de cálcio

Segundo GETHING (1962), para fins práticos o magnésio também deve ser considerado na relação.

$$\Delta \bar{G} = RT \ln (aK / \sqrt{a(Ca + Mg)})$$

Utilizando-se o logaritmo decimal tem-se:

$$\Delta \bar{G} = 1364 \log (aK / \sqrt{a(Ca + Mg)})$$

Sendo p o logaritmo do inverso da atividade de potássio, de cálcio e de magnésio.

$$\Delta \bar{G} = 1364 [pK - \frac{1}{2} p (Ca+Mg)]$$

A energia livre de um nutriente no solo segundo CHITOLINA¹, determina a quantidade de trabalho que uma planta tem que realizar para deslocar um equivalente grama de nutriente no solo.

BULL (1986) chama atenção que vários autores sugerem apenas o termo final da equação anterior, ou seja, a relação da atividade para o ion potássio de solução $aK/\sqrt{a(Ca + Mg)}$, ou seu logaritmo, $pK - 0,5 p(Ca+Mg)$, também denominado potencial potássio-cálcio-magnésio, como uma indicação satisfatória da disponibilidade imediata de potássio às plantas.

Para BARROWS *et al.* (1965) os solos são deficientes em potássio, quando $\Delta\bar{G}$ for menor que -6000 Cal/equivalente; todavia, KHASAWNEH (1971) sugeriu -3500 calorias/equivalente como limite.

WOODRUFF (1955), afirma que os valores de $pK - 0,5 pCa$ entre 1,8 a 2,2 representam equilíbrio adequado entre cálcio e potássio para a nutrição de plantas. Chama também a atenção o autor que para valores maiores que 2,6 ocorrem deficiências de potássio e valores menores que 1,5 ocorrem absorção excessiva de potássio ou deficiência de cálcio. Estes dados foram confirmados por BULL (1986) que observou deficiência de K em valores de $pK - 0,5 p(Ca+Mg)$ maiores que 2,6 para cultura de gramíneas isoladas e consorciadas e leguminosa consorciada.

BRAGA (1972), pesquisando vinte e um solos de Minas Gerais, encontrou os valores de 1,64 a 2,714 para potenciais daqueles solos e identificou o valor de 2,039 como nível crítico de potencial de potássio. Já MOSS & COULTER (1964) encontrou o valor 2,3 como nível crítico do potencial de potássio no solo para cultura da bananeira e de 2,8 para cultura do cacau.

¹ Notas de aula - LQI-880

2.5. Fósforo

Segundo ROCHE *et al.* (1980) 65,1% dos solos tropicais são fortemente deficientes em fósforo e 26,6% o são ainda medianamente deficientes. Já JACOB *et al.* (1963) e FASSBENDER (1967) em seus estudos chamam a atenção que 66% da zona feijoeira da América Latina apresentam o mesmo problema de deficiência, o que constitui um fator limitante na produção do feijão.

No Brasil, 232 ensaios de adubação conduzidos nos estados do Amazonas, Pará, Santa Catarina, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Distrito Federal levaram MALAVOLTA (1972) a concluir que as maiores e mais frequentes respostas do feijoeiro foram ao fósforo.

Todavia, FORTUNATO (1982) chama a atenção para alguns solos derivados do calcário do grupo bambuí que apresentam teores elevados de fósforo para a média dos solos tropicais. Para MISI & KYLE (1990) estes altos teores estarão relacionados com estrutura estomatolíticas, dissimuladas nos pacotes carbonáticos.

Em geral duas categorias de fósforo estão presentes na maioria dos solos, os orgânicos e os inorgânicos. Além destes RUSSEL & RUSSEL (1968) admitiram o fósforo na solução do solo.

A maioria do fósforo inorgânico está presente nos solos como sais do ácido ortofosfórico, os quais podem ser classificados como fluor-, hidróxi-, e oxifosfatos de ferro, cálcio, alumínio, magnésio, manganês e titânio (LARSEN, 1967). Para CHANG & JACKSON (1957), estes fosfatos compreendem quatro grupos principais: fosfato de cálcio, de alumínio, de ferro e fosfatos solúveis em redutores, após remoção das três formas anteriores. No entanto, para RUSSEL & RUSSEL (1968), são classificados em dois grupos: o grupo do fosfato de ferro e alumínio destacando a variscita, strengita, vivianita e esturénita. E o grupo calcítico dos fosfatos mono, di, tri e octacálcio, hidróxi, cloro e fluorapatita.

Na solução do solo o ácido ortofosfórico se dissocia de acordo com a reação:

O estudo das reações físico-químicas dos fosfatos do solo, mostram que entre o pH 5 e 6, para fins práticos, quase todo fósforo em solução encontram-se nas formas absorvíveis $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} com predomínio da primeira. Entre pH 6 e 7, as concentrações destas duas formas tendem a igualar, e a maiores valores de pH a forma HPO_4^{2-} predomina.

Segundo BUEHRER (1932) as concentrações de íons fosfatos na solução do solo são afetadas por presença de Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} os quais favorece a formação de uma série de complexos fosfatados de variada solubilidade.

HSU & JACKSON (1960) observaram que a fração inorgânica do fósforo no solo estava relacionada com pH. Acima de pH 7,0, o fósforo se unia, principalmente, ao cálcio, em pH menor que 7,0, as frações ligadas ao ferro e alumínio aumentavam.

Estudando o comportamento de fosfato monocálcico aplicado a seis solos de Ontário no Canadá, selecionados quanto ao pH, textura e teor de $CaCO_3$, MACKENZIE & AMER (1964) constataram que em cinco dos solos estudados (pH variando entre 5,3 a 7,2) a fração de fósforo ligado ao alumínio foi sempre maior que aquela ligada ao ferro. Apenas em um dos solos estudados (pH 7,6 e um equivalente a 69,9 de $CaCO_3$) a fração do fósforo ligada ao cálcio cresceu e foi maior do que as duas primeiras citadas. Isto está de acordo com CHANG & JACKSON (1957) quando afirma que em solos com pH neutro e alcalino, onde a forma P-Ca poderá ser dominante, há a formação de P-Al e P-Fe ainda que em menor grau do que em solos ácidos.

A concentração ou mais precisamente, a atividade de fósforo na solução de solos alcalinos ou calcários pode ser largamente governada por três fatores:

1. Atividade do Ca^{2+}
2. A quantidade e tamanho das partículas de carbonato de cálcio livre no solo
3. A quantidade de argila presente

A atividade do fósforo pode ser baixa naqueles solos que possuem uma alta atividade de Ca^{2+} , uma grande quantidade de carbonato de cálcio

finamente dividido, e uma grande quantidade de argila saturada em cálcio. Contrariamente, em sequência para manter um nível conhecido da atividade de fosfato na solução do solo, é necessário adicionar grandes quantidades de fertilizantes fosfatados em tais solos.

Segundo McGEORGE & BREAZEALE (1931), a formação de complexos carbonato-fosfato nos quais um mol de carbonato de cálcio é combinado com três moles de fosfato tricálcico é causado por a baixa disponibilidade de fósforo em solos calcários. Os autores sugerem que a solubilidade do fosfato da rocha é grandemente reduzida quando carbonato de cálcio está presente na fase sólida.

BOISCHOT *et al.* (1950) chamam atenção que a solubilidade do fosfato é fixada sobre a superfície do carbonato de cálcio por um fenômeno de sorção, não por precipitação. O fosfato fixado desta maneira pode ser usado pelas plantas em decorrência do fenômeno de dessorção para a solução do solo.

BUEHRER (1932), observou que a solubilidade de fosfato em solo saturado com cálcio foi diretamente proporcional a concentração de íons hidrogênio e inversamente proporcional a concentração de íons de cálcio. Já RAVIKOVITCH (1939) e GARDNER & KELLEY (1940) chamam atenção que nos solos dominados por sódio, a solubilidade do fosfato é muito maior do que em solos dominados por cálcio.

RAGLAND & SEAY (1957) estudaram o efeito do cálcio trocável sobre a fixação do fósforo pela fração argila de quatro solos Podzólicos de Kentucky (USA), verificaram que, nas argilas previamente acidificadas, a fixação do fósforo aumentou quando a saturação do cálcio cresceu de 60%. Admitem os autores que a retenção do fósforo foi devida à formação de fosfatos de cálcio e à ligação $H_2PO_4^-$ - cálcio - micela.

Para LINDSAY *et al.* (1962), o fosfato aplicado em solos com elevado teor de cálcio e em solos alcalinos precipita-se usualmente como fosfato bicálcico bihidratado ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) e/ou fosfato octacálcico ($[Ca_4H(PO_4)_3 \cdot 3H_2O]$). Tais compostos reagem com a solução de solo, formando apatita. HUFFAMAN (1962) coloca a solubilidade destes compostos na seguinte ordem decrescente: fosfato bicálcico bihidratado, fosfato octacálcico, hidroxi-apatita.

SEN GUPTA & CORNFIELD (1962), observaram que fosfatos solúveis aplicados em solos com alto teor de $CaCO_3$ (16,5%) foram largamente

fixados como fosfatos não apatíticos e como formas facilmente removíveis. Solos com baixos teores de CaCO_3 (0,15%) apresentaram, além destas formas, fósforo ligado ao alumínio e ferro. Em nenhum caso foi verificada a presença de apatitas. A maior percentagem de fixação ocorreu nas primeiras 24 horas e decresceu com o aumento da concentração de fosfato. Não se verificou correlação significativa entre a fixação de fósforo e teores de CaCO_3 , quando estes variaram de 0,5% a 47,2%.

O magnésio também reage com o fosfato adicionado aos solos, formando fosfato dimagnésio trihidratado ($\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e/ou fosfato trimagnésico ($[\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2]$). Por dissolução, o fosfato dimagnésico forma o fosfato trimagnésico, menos solúvel em água (RACZ & SOPER, 1967).

2.6. Enxofre

Da mesma forma que o N e o P, o S encontra-se no solo na forma inorgânica e orgânica. Em forma geral, o S total dos solos varia entre 0,003 a 1%, com média de 0,07%. Em regiões tropicais, os solos inorgânicos apresentam teores de 0,02 a 0,2% e os orgânicos podem ter até 1%.

Na maioria dos solos de regiões temperadas, de 60 a 90% do S está em forma orgânica e em regiões tropicais a variação pode ser mais ampla, sendo que em solos muito intemperizados e com baixos teores de matéria orgânica, o S orgânico é relativamente baixo, menor que 10% do total e em alguns solos da África, tão alto que chega a 100%, mas com teores relativamente baixos.

O enxofre, na maior parte de terrenos agriculturáveis, se encontra na forma de matéria orgânica, sulfatos solúveis na solução do solo ou adsorvidos no complexo sortivo do solo.

Em solos áridos ou semi-áridos, como a microrregião de Irecê-BA, o SO_4^{2-} precipita em grandes quantidades como sulfatos de Na, K, Ca, Mg. Em solos ácidos argilosos, é adsorvido em argilas 1:1 ou óxidos hidratados de Fe e Al.

Para BOLAN *et al.* (1993) nos solos calcários o Ca^{2+} é atraído eletrostaticamente e superficial de argilo-minerais gerando cargas positivas. O SO_4^{2-} por sua vez também é atraído para o sítio positivo onde fica adsorvido, diminuindo conseqüentemente sua disponibilidade nos solos.

Segundo ALVAREZ (1988), a solubilidade dos sulfatos diminui conforme os seguintes cátions acompanhantes:

K e Na > Ca e Mg > Al e Fe, sendo os primeiros, dominantes em solos alcalinos e os últimos, em solos ácidos.

Respostas a enxofre tem sido observadas em São Paulo, Goiás, no Planalto Central do Brasil, em culturas de café, milho, algodão, feijão e soja, especialmente em solos de vegetação de cerrado (HIROCE & GALLO, 1972).

O feijoeiro requer 25 kg de enxofre por hectare para produzir uma tonelada de grãos (OLIVEIRA & TUNG, 1988). Embora sejam escassos os trabalhos de calibração para enxofre (ALVAREZ, 1988), teores no solo na faixa de 10 a 15 ppm podem ser considerados como o nível crítico para este nutriente (ROCHA & MALAVOLTA, 1988 e FERRARI NETO, 1991).

Segundo MALAVOLTA (1952) em feijoeiro, como também em arroz, algodão e cana de açúcar, observa-se um teor de enxofre acima do teor de fósforo.

2.7. Boro

Nos solos brasileiros, os teores de boro encontram-se geralmente, nas faixas de 0,06 a 0,5 mg/dm³ e 30 a 60 mg/dm³, para a quantidade disponível e total, respectivamente (MALAVOLTA, 1980).

Solos com baixo teor de matéria orgânica e alto teor de hidróxidos de ferro e alumínio tem apresentado, segundo CHAPMAN & VANSELOW (1955), deficiência de B. Também para BRASIL SOBRINHO (1966), GUPTA (1968) e CASAGRANDE (1978), o B está contido nas combinações orgânicas e é liberado daí para as plantas pela decomposição microbiana.

HOROWITZ & DANTAS (1973), comentam que solos derivados de material clástico, calcário, folhelhos e especialmente argilas marinhas são relativamente ricos em boro.

Já REISENAUER *et al.* (1973) afirmam que em solos de regiões alcalinos com altos teores de B, o micronutriente adsorvido constitui o reservatório lábil, a partir do qual a concentração de borato na solução do solo é mantida, enquanto que, em solos ácidos e com baixos teores de matéria orgânica, o

principal reservatório desse nutriente são os minerais contendo boro, os quais são vagarosamente intemperizados.

GUPTA (1979) encontrou correlação negativa entre a absorção de boro pelas plantas e o pH do solo. Todavia, para COOK & MILLAR (1939), esta relação não é consistente, uma vez que já foi observada deficiência de boro em solos ácidos e ausência de deficiência em solos alcalinos. Da mesma forma BRASIL SOBRINHO (1965), obteve teores mais altos de boro em solos com pH mais alto do que naqueles de pH mais baixo, usando como extrator água quente.

Estudos semelhantes foram realizados por PETERSON & NEWMAN (1976) que mostraram correlação negativa, entre pH do solo e a absorção de boro pelas plantas, para valores de pH acima de 6,3-6,5, não mostrando a mesma tendência definida para pH abaixo de 6,5.

A adsorção de boro varia relativamente pouco quando o pH variar na faixa ácida (pH 4,0 a 7,0) (SCHALSCHA *et al.*, 1973). Já na faixa alcalina a retenção de boro aumenta em função da fixação do mesmo, sendo normalmente liberado pelo abaixamento do pH do solo ao seu nível original (OLSON & BERGER, 1946).

Para KEREN & BINGHAM (1985) quando o pH se encontra próximo a 9,0, a espécie $B(OH)^{4-}$ aumenta rapidamente, diminuindo a disponibilidade de boro na solução do solo. Podendo grande parte do boro precipitar pela reação com $CaCO_3$, e isto acontece quanto maior for a concentração de boro na solução.

Segundo JONES & SCARSETH (1944) plantas de alfafa, aveia e tabaco extraem diferentes quantidades de cálcio e boro de acordo com as suas disponibilidades no solo. A planta terá um desenvolvimento normal quando existir um equilíbrio na absorção de cálcio e boro, sendo desfeito o equilíbrio, em função de uma pequena absorção de cálcio como ocorre em solos ácidos, a planta terá uma maior tolerância a deficiência de boro. Já em solos com pequenas quantidades de cálcio trocável (muito ácido) a adição de pequenas doses de boro pode causar fitotoxidez. Nos solos alcalinos ou em solos que tenham recebido uma super calagem as plantas necessitam de mais boro do que normalmente é exigido em solos ácidos.

RIBEIRO & BRAGA (1974), estudando solos de Minas Gerais, classificados como LE, LV e LR, observaram que a adsorção do boro condicionou-se ao pH situado nas faixas alcalinas e que o cálcio teve participação ativa na

retenção de boro pelo solo. Segundo os autores solos mais novos apresentaram maior capacidade de adsorção do boro e não foi encontrada, nas condições do trabalho, correlação entre adsorção de boro e teores de argila, matéria orgânica e óxidos livres de ferro e alumínio.

2.8. Cobre

O cobre no solo existe, predominantemente, na forma cúprica (Cu^{2+}), aparecendo em maior proporção adsorvido os minerais de argila; aos hidróxidos de ferro e matéria orgânica (MALAVOLTA, 1980).

A maior disponibilidade deste elemento se dá na faixa de pH 5,0-6,5.

Segundo MALAVOLTA & MURAOKA (1991), as deficiências deste nutriente não são frequentes como as do zinco em solos com pH elevados, uma vez que o Cu da matéria orgânica vai sendo liberado lentamente. Afirmam também os autores que solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica podem tornar-se deficientes em cobre em função das perdas por lixiviação. Solos argilosos, normalmente, tem menores probabilidades de apresentarem deficiências deste micronutriente.

Segundo LINDSAY (1972) com o aumento do pH, grande parte do cobre é adsorvido, permanecendo todavia uma pequena fração solúvel em equilíbrio. O cobre é também encontrado como sais solúveis, carbonatos e óxidos, no entanto o aumento na concentração de carbonatos, não implica em diminuição da concentração de cobre na saturação do solo.

A explicação segundo TISDALE *et al.* (1985) para o aumento da adsorção do cobre com a elevação do pH poderam ser:

1. Aumento no número de sítios pH - dependentes nos colóides;
2. Menor competição com ions H^+ ;
3. Possíveis mudanças no estado de hidrólise do cobre na solução do solo

MALAVOLTA (1980) chama atenção que altas concentrações de cobre, no meio, diminuem a absorção de ferro, molibdênio e zinco. Como também altas concentrações de zinco, fósforo e molibdênio diminui a absorção do Cu.

2.9. Ferro

O ferro se encontra em grandes quantidades nos solos, sobretudo nos solos tropicais. As plantas precisam de ferro em quantidades ínfimas, particularmente para formação de clorofila; como papel enzimático, pois a clorofila não contém ferro na sua molécula.

Segundo OLIVEIRA & THUNG (1988), os teores de ferro total no solo variam de 3% até os valores acima de 30%.

O ferro dos solos provém, principalmente, dos minerais ferruginosos da rocha-mãe, notadamente das olivinas, piroxênios, biotita, hematita e magnetita. Segundo BOYER (1971), uma ausência, ou baixos teores desses minerais, não quer dizer que o solo esteja desprovido de ferro, porque este elemento existe como impureza em muitas rochas ou mesmo minerais. Entretanto, para o autor, são frequentes os casos de carências em solos carregados em calcário, sobretudo pó calcáreo muito fino, que é chamado de “calcáreo ativo”.

Para MALAVOLTA & MURAOKA (1991), a deficiência, no caso de solos calcários é, muitas vezes, atribuída à causas fisiológicas.

Segundo MENGEL & GEURTZEN (1986) a deficiência de ferro em plantas desenvolvidas sobre solos calcários, muitas vezes é confundido com um efeito das altas concentrações de carbonatos e Ca^{2+} sobre a disponibilidade de ferro, ou ainda por se pensar que o solo apresenta baixos níveis deste elemento. Todavia, tem sido demonstrado que o efeito observado seja causado por excesso de HCO_3^- , cujas as altas concentrações provocam uma inibição na capacidade de redução de raiz, absorção de Fe, translocação para as folhas e imobilização do ferro no interior das plantas. O bicarbonato segundo YANG (1993) decresce as concentrações e absorção de ferro na parte aérea de cultivares de arroz ineficientes em zinco.

LINDSAY (1979) mostra que Fe^{3+} , é a forma de Fe utilizada por plantas, e tem excessivamente baixa solubilidade em solos de pH 7 e acima, e que a solubilidade do ferro decresce por três ordens de magnitude para o aumento de cada unidade de pH. ROMHELD & MARSCHNER (1986) relataram que a solubilidade do Fe^{3+} acima de pH 5 é limitado para o uso pela planta e que a planta interfere por alterar a química da rizosfera, mobilizando Fe para utilização e absorção pelas plantas.

Muitas características fisiológicas da planta associadas com deficiência de Fe estão sob controle genético, e estas características podem ser selecionadas por procedimento rotineiro de melhoramento de plantas, o que representa a possibilidade de controle da clorose-deficiência de ferro, mudando a planta para acomodar problemas peculiares do solo em vez da difícil conexão das propriedades químicas do solo para satisfazer a planta (BROWN *et al.*, 1972).

CHAUDHRY & WALLACE (1976) afirma que o ferro compete inibindo a absorção de zinco na cultura do arroz em solução nutritiva. O efeito é mais pronunciado nos brotos do arroz em baixa concentração de zinco ($5\mu\text{M}$ de Zn) a mais encontrada no solo.

Na ausência de Fe a percentagem de Zn total nos brotos são 29%, porém somente 19% na presença. Este estudo tem confirmado a suspeita que ferro leva a redução e causa deficiência de zinco em plantas de arroz e baixa a eficiência da adição de fertilizantes.

Quanto ao nível crítico de ferro no solo ELGALA *et al.* (1986), em experimentos conduzidos em vasos com solos calcários do Egito, usando como extrator o DTPA sugere o nível crítico de $3,8 \text{ mg/dm}^3$.

2.10. Manganês

É depois do ferro, o mais abundante micronutriente na crosta terrestre.

Segundo DANTAS (1971) e MONIZ (1972), concentrações acima de 20 ppm de Mn no solo são suficientes para as plantas. Todavia, para KLANT (1969), níveis acima de 20 ppm são tóxicos, enquanto que inferiores a 2,5 ppm pode ser insuficientes para algumas plantas.

A maior disponibilidade de manganês ocorre na faixa de pH 5,0-6,5. Todavia, afirmam MALAVOLTA & MURAOKA (1991), que se o pH subir acima de 6, haverá o perigo de que a deficiência possa ocorrer devido à formação de óxidos de Mn insolúveis. A redução na disponibilidade de manganês é de 100 vezes para aumento de uma unidade no pH do solo. Segundo os autores, desbalanços em relação a cálcio, magnésio e ferro podem causar a deficiência de manganês.

Em função da baixa solubilidade do manganês em solos calcários, FAHAD (1987) trabalhando com, o ^{54}Mn demonstrou que o fenômeno de adsorção química entre CaCO_3 e Mn^{2+} poderia explicar a baixa mobilidade do ^{54}Mn , e que a adição de EDTA, como agente quelante, permitiu uma grande recuperação do Mn^{+2} adicionado ao solo.

Estudando o efeito do bicarbonato e temperatura na zona da raiz (RZT) sobre a absorção de Zn, Fe, Mn e Cu em cultivares de arroz YANG *et al.* (1993) chegaram a conclusão que o bicarbonato deprimiu não só o acúmulo de manganês na parte aérea dos cultivares de arroz susceptíveis a deficiência de zinco, como também o acúmulo de ferro.

Trabalhando com solos calcários do Egito, em experimentos conduzidos em vaso ELGALA (1986) estimou em $1,2 \text{ mg/dm}^3$ como nível crítico de manganês no solo, extraído com DTPA.

2.11. Zinco

Segundo VALADARES & CATANI (1975), o material de origem é o fator preponderante para condicionar os teores de zinco dos solos. E que os solos derivados de rochas básicas, mais ricos em zinco, tem os teores médios ponderados dos horizontes A e de seus perfis compreendidos entre 87 e 315 mg/dm^3 ; os materiais aluviais e coluviais, 53 e 84 mg/dm^3 ; os derivados de sedimentos modernos, entre 29 e 65 mg/dm^3 ; os derivados de arenito de Bauru, entre 13 e 30 mg/dm^3 ; os derivados de sedimentos modernos arenosos, entre 1 a 17 mg/dm^3 , os mais pobres em zinco.

A maior disponibilidade do zinco ocorre na faixa de pH 5,0 e 6,5. Nos solos calcários, acredita-se que a carência de Zn seja devida ao baixo produto de solubilidade do elemento nos complexos formados com os colóides e o carbonato. Como no caso do manganês, a disponibilidade do zinco reduz de 100 vezes para cada acréscimo de uma unidade no pH (MALAVOLTA & MURAOKA, 1991).

Trabalhando com 20 solos calcários, YASREBI *et al.* (1994) encontrou que a quantidade trocável de Zn^{+2} é muito baixa, pois na maior parte o zinco é encontrado em formas insolúveis de precipitados de oxi-hidróxidos de Fe e

Mn, e carbonato. Segundo os autores a adição de ZnSO_4 nos solos, aumenta a fração carbonatada, o que causa a baixa recuperação de Zn^{2+} nos solos.

Todavia GUPTA *et al.* (1987) estudando o efeito do pH sobre reações de adsorção de zinco em solos alcalinos, indicam que o aumento no pH do solo aumenta a carga negativa, aumentando também a permeabilidade do zinco. Para o autor o alto pH comumente observado em solos alcalinos, precipitam reações controlando a solubilidade do zinco.

FORNO *et al.* (1975) considera que o bicarbonato tem sido o maior causador da deficiência de zinco em arroz sobre solo calcário. Segundo o autor o bicarbonato pode inibir absorção de zinco pelas raízes, ao imobilizar o zinco nas raízes, inibe a translocação para a parte aérea.

Para YANG (1993), o bicarbonato decresceu as concentrações e absorção total de zinco na parte aérea de cultivares de arroz "ineficientes-Zn", mas não em cultivares "eficientes-Zn".

CARVALHO *et al.* (1977), trabalhando com solos calcários da microrregião de Irecê-BA, não encontrou resposta às aplicações de zinco, para cultura do feijoeiro. Por sua vez FANNING (1985), observou não só deficiência de zinco, como fósforo e nitrogênio em feijoeiro no Vale do Rio Vermelho de Minnesota e North Dakota a maior área de produção de sementes de feijoeiro comum.

SAKAL (1982) determinando nível crítico de zinco em solo e planta, usando como extrator o DTPA em 23 solos calcários, encontrou inicialmente correlação negativa com pH ($r=-0,41^*$), correlação positiva com carbono orgânico ($r=0,71^{**}$) e com a concentração de zinco no tecido da planta de arroz ($r=0,93^{**}$). Já o nível crítico, concentração de zinco no solo e planta abaixo do qual a planta responde a aplicação de zinco no solo $0,78 \text{ mg/dm}^3$ e 19 mg/kg respectivamente. Semelhantemente ELGALA (1986), trabalhando com solos calcários do Egito encontrou nível crítico nestes solos de $0,70 \text{ mg/dm}^3$.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudadas amostras da superfície de quatro solos calcários, um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA), Cambissolo Vértico (CV) e um Cambissolo Latossólico (CL), os mais representativos da microrregião de Irecê. As amostras foram extraídas, de 0 a 20 cm de profundidade, secas ao ar até atingirem 4-6% de umidade, passadas em peneiras com malhas de 6 mm de abertura. As subamostras foram retiradas e passadas em peneiras com malhas de 2 mm para serem efetuadas as análises físicas, mineralógicas e químicas.

O estudo consistiu de uma caracterização física, mineralógicas e química dos solos e da instalação de dois ensaios em casa de vegetação, em vasos com capacidade de 1,5 dm³, utilizando-se como planta teste, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).

3.1. Localização dos Ensaios

Os ensaios foram instalados e conduzidos em casa de vegetação no Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, "Campus" de Piracicaba - USP, Estado de São Paulo.

3.2. Caracterizações Físicas, Mineralógicas e Químicas das Amostras

3.2.1. Análise Granulométrica

As análises granulométricas foram determinadas de acordo com o método do densímetro, empregado no laboratório de física de solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- USP (BOYOUCOS, 1927).

3.2.2. Análise Mineralógica

A caracterização mineralógica foi realizada utilizando-se difração de raio-X da fração argila e silte. E as lâminas para obtenção dos difratogramas da fração argila das amostras dos solos foi tratada com potássio natural, 350°C e 550°C, como também com magnésio e magnésio-glicerol (WHITE & JACKSON, 1947 e JACKSON, 1956).

3.2.3. Análise Química dos Solos

As análises químicas iniciais foram executadas com três repetições, sendo:

- A) pH em água, KCl e CaCl_2 - determinado em potenciômetro, com eletrodo de vidro, empregando-se a relação terra-solução 1:2,5 (RAIJ *et al.*, 1987).
- B) Matéria orgânica - pelo método colorimétrico (QUAGGIO & RAIJ, 1979) e da combustão por via seca utilizando o analisador “Carmograph 12A” da H. Wösthoff KG.

- C) Fósforo disponível - para melhor avaliação do fósforo disponível a extração foi feita pelos extratores resina, Mehlich-1, Olsen e Bray-1. A extração pela resina trocadora de íons seguiu a metodologia proposta por RAIJ & QUAGGIO (1983), com determinação colorimétrica do complexo fosfomolibdico após redução com ácido ascórbico. A extração por Mehlich-1, na relação solo:solução 1:10 seguiu a metodologia proposta por THOMAS & PEASLEE (1973). A extração com Olsen (OLSEN *et al.*, 1954), a relação solo:solução foi 1:20 e o tempo de agitação de 30 minutos, com posterior filtragem lenta. E na extração com Bray-1, a relação solo:solução foi 1:10, com agitação por cinco minutos, procedendo-se centrifugação a 3500 rpm, por cinco minutos e posterior filtragem, adicionou-se uma gota de ácido sulfúrico concentrado, para diminuir o pH do extrato, tornando-o mais límpido e favorecendo o desenvolvimento da coloração (BRAY & KURTZ, 1945).
- D) Enxofre disponível - extraído com NH_4OH 0,5N em HOAC 0,25N e determinado por turbidimetria do sulfato de Ba, conforme VITTI (1989).
- E) Potássio, cálcio magnésio - extraído pelo método da resina, sendo determinado potássio por fotômetro de chama e o cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, segundo RAIJ *et al.* (1987). Além desta extração, estes cátions conjuntamente com o sódio foram extraídos pelo extrator Mehlich-1.
- F) Alumínio trocável - extraído por solução 1N de KCl e titulado com solução 0,025N de hidróxido de sódio (RAIJ *et al.*, 1987).
- G) Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) - determinado potenciometricamente pela solução tampão SMP (RAIJ *et al.*, 1987).
- H) Carbonato de cálcio - determinado através de neutralização com ácido clorídrico 0,5N, usando como indicador fenolftaleína 1% em etanol de 60% e titulado com hidróxido de sódio 0,25N segundo RICHARDS, L.A. (1954).
- I) Soma de bases trocáveis, (S) - soma dos teores de K, Ca, Mg e Na trocáveis.

- J) Capacidade de troca, (T) - soma de $S+H^++Al^{3+}$.
- K) Saturação de bases, (V%) - a percentagem das bases no complexo sortivo do solo $V\% = S/T \cdot 100$.
- L) Saturação de alumínio (m%) - a saturação de alumínio, representada por m% foi calculada pela expressão: $m\% = Al^{3+}/(S+Al^{3+}) \cdot 100$
- M) Cobre, ferro, manganês e zinco - foi extraído com DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético) tamponado a pH 7,3 (RAIJ *et al.*, 1987). Como também foi usado o extrator Mehlich-1.
- N) Boro - utilizado o extrator Mehlich-1, determinando-se o boro extraído por colorimetria com curcúmina (TEDESCO *et al.*, 1985). Foi também usado o extrator $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0,1% com extração em banho-maria a 70°C, mantendo inicialmente em repouso por dez minutos para aquecimento e posterior agitação da suspensão por cinco minutos e aproximadamente 180 rpm; após um repouso de duas horas retirou-se uma alíquota do sobrenadante para quantificação com azometina-H (CRUZ & FERREIRA, 1984).
- O) Ataque pelo ácido sulfúrico - foi utilizado 2,0 g de TFSA, 50 ml de H_2SO_4 e fervura durante uma hora, determinando-se teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , conforme VETTORI (1969). As relações K_i e K_r , ou seja, as relações SiO_2/Al_2O_3 e $SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$ foram calculadas sob forma molecular.

3.3. Experimentos em Casa de Vegetação

3.3.1. Delineamento Experimental e Análise Estatística

3.3.1.1. Estudo da relação $K/(Ca+Mg)$

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, envolvendo oito tratamentos com três repetições para o LA, CV e CL e apenas quatro níveis de K portanto, quatro tratamentos com seis repetições para o LVA.

A tabela 1 mostra os níveis de K, Ca, Mg e valores da relação Ca/Mg.

Tabela 1. Níveis de K, Ca, Mg e valores da relação Ca/Mg

Relação	Níveis dos Elementos			Relação
K/(Ca+Mg)	K	Ca	Mg	Ca/Mg
Ko/(Cao+Mgo)	K0	Cao	Mgo	Original
K1/(Cao+Mgo)	K1			
K2/(Cao+Mgo)	K2			
K3/(Cao+Mgo)	K3			3,30/1
K4/(Cao+Mg1)	K4	Cao	Mg1	
K5/(Cao+Mg1)	K5			
K6(Cao+Mg1)	K6			
K7(Cao+Mg1)	K7			

As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio de um computador 486 DX 66. Foi realizada análise de variância dos dados de produção de grãos de feijão; de matéria seca de: folhas, raízes, caules + ramos, vagem e matéria seca total; da concentração de potássio, cálcio e magnésio na planta; teores de cálcio e magnésio trocáveis e potássio disponível do solo.

A comparação entre as médias foi feita pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foram também, estabelecidas equações lineares e quadráticas entre os valores de níveis das relações K/(Ca+Mg) no solo versus todos os parâmetros anteriormente citados.

3.3.1.2. Diagnose de P, S e Micronutrientes

Também foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado - utilizando-se a técnica de diagnose por subtração (MALAVOLTA & MURAOKA, 1985), envolvendo nove tratamentos com três repetições, constituídos da seguinte maneira:

1. Adubação completa (completo)
2. Solo natural (testemunha)
3. Adubação completa com a omissão de fósforo (-P)
4. Adubação completa com a omissão de enxofre (-S)
5. Adubação completa com a omissão de boro (-B)
6. Adubação completa com a omissão de cobre (-Cu)
7. Adubação completa com a omissão de ferro (-Fe)
8. Adubação completa com a omissão de manganês (-Mn)
9. Adubação completa com a omissão de zinco (-Zn)

Cada parcela foi constituída por um vaso com dreno. Sendo realizada análise de variância de produção de grãos de feijão; de matéria seca de: folhas, raízes, caule+ramos, vagem e matéria total; teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na planta e no solo.

A comparação entre as médias foi feita pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3.2. Instalação e Condução dos Experimentos

3.3.2.1. Estudo da Relação $K/(Ca+Mg)$

As amostras do solo para o cultivo do feijoeiro foram divididas em subamostras correspondentes ao volume do vaso ($1,5 \text{ dm}^3$). Utilizaram-se vasos com dreno, onde as subamostras juntamente com os teores de potássio e

magnésio nas doses desejadas contidas na (tabela 2), foram incubadas, mantendo-se a umidade em torno de 80% da capacidade de campo por um período de 30 dias.

As doses de potássio a serem atingidos para os solos LVA e LA foram calculadas em função dos teores iniciais de potássio, cálcio e magnésio (tabela 3), e para os solos CV e CL foi calculado em função da percentagem na CTC dos solos, 2, 4 e 5% de T e 4, 5 e 6% de T, respectivamente.

As doses de magnésio para o LA, CV e CL foram determinadas com o intuito de baixar a relação Ca/Mg para 3,30, relação semelhante a relação original do LVA (tabela 3).

Após o período de incubação, o solo de cada vaso foi removido, destorreado, homogeneizado e coletadas amostras de terra para análise química. Em seguida, foram feitas adubações de plantio segundo MALAVOLTA & MURAOKA (1985) com 200 mg/dm³ de N dividido em quatro aplicações iguais; 200 mg/dm³ de P; 30 mg/dm³ de S e 1; 2; 30; 15; 0,1 e 4 mg/dm³ de B; Cu; Fe; Mn; Mo e Zn respectivamente.

No dia seguinte, foram semeadas no solo seis sementes de feijão por vaso e foi efetuado o desbaste sete dias após a emergência, deixando-se duas plantas por vaso.

Os vasos foram irrigados diariamente com água destilada, procurando-se manter o teor de umidade próximo à capacidade de campo. Efetuou-se, periodicamente, o rodízio dos vasos.

A colheita foi realizada 40 dias após a semeadura, fazendo-se o corte rente ao solo e acondicionando-se o material vegetal em sacos de papel. O material vegetal foi posto para secar em estufa de ventilação forçada a 75°C, até peso constante.

Após seco e pesado, o material vegetal foi moído em moinho do tipo Wiley e, posteriormente, mineralizado e analisado.

Tabela 2 . Percentagem de saturação de potássio na CTC, níveis de potássio a ser atingidos ($\text{mmol}_c/\text{dm}^3$) e quantidades de potássio e magnésio adicionadas em função das relações $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relação $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$	% K na CTC a ser atingida	$\text{mmol}_c \text{K}/\text{dm}^3$ a ser atingido	$\text{mmol}_c \text{K}/\text{dm}^3$ a ser adicionado	$\text{mmol}_c \text{Mg}/\text{dm}^3$ a ser adicionado	g KCl/vaso a ser adicionado	g $\text{MgCl}_2/\text{vaso}$ a ser adicionado
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>						
1/6,5	12,17	17,00	0,00	0,00	0,000	0,00
1/5,5	14,39	20,10	3,10	0,00	0,345	0,00
1/4,5	17,61	24,60	7,60	0,00	0,849	0,00
1/3,5	22,62	31,60	14,60	0,00	1,631	0,00
<u>Latossolo Amarelo</u>						
1/7,7	9,90	10,40	0,00	0,00	0,000	0,00
1/6,7	11,43	12,00	1,60	0,00	0,179	0,00
1/5,7	13,43	14,10	3,70	0,00	0,414	0,00
1/4,7	16,29	17,10	6,70	0,00	0,748	0,00
1/8,4	9,90	10,40	0,00	7,40	0,000	1,128
1/7,4	11,33	11,90	1,50	7,40	0,167	1,128
1/6,4	13,05	13,70	3,30	7,40	0,369	1,128
1/5,4	15,43	16,20	5,80	7,40	0,648	1,128
<u>Cambissolo Vértico</u>						
1/137,3	0,70	2,80	0,00	0,00	0,000	0,00
1/48,0	2,01	8,00	5,20	0,00	0,581	0,00
1/24,2	3,99	15,90	13,11	0,00	1,464	0,00
1/19,3	5,00	19,90	17,10	0,00	1,911	0,00
1/170,6	0,70	2,80	0,00	93,50	0,000	14,256
1/48,8	2,46	9,80	7,00	93,50	0,782	14,256
1/24,4	4,93	19,60	16,80	93,50	1,877	14,256
1/19,5	6,15	24,45	21,70	93,50	2,426	14,256
<u>Cambissolo Latossólico</u>						
1/32,9	2,39	3,70	0,00	0,00	0,000	0,00
1/19,6	4,01	6,20	2,50	0,00	0,279	0,00
1/15,8	4,98	7,70	4,00	0,00	0,447	0,00
1/13,1	6,01	9,30	5,60	0,00	0,626	0,00
1/35,8	2,39	3,70	0,00	10,80	0,000	1,646
1/20,1	4,27	6,60	2,90	10,80	0,324	1,646
1/16,2	5,30	8,20	4,50	10,80	0,503	1,646
1/13,4	6,40	9,90	6,20	10,80	0,693	1,646

Tabela 3. Valores médios de potássio, cálcio e magnésio (mmol/dm^3), relações Ca/Mg $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ e percentagem de potássio, cálcio e magnésio na CTC dos solos estudados

Solo	K	Ca	Mg	Relação Ca/Mg	Relação K/(Ca+Mg)	K	Ca	Mg
	mmol/dm^3					% CTC		
LVA	17,00	84,70	26,00	3,30	1/6,5	12,17	60,63	18,61
LA	10,04	67,30	13,00	5,18	1/7,7	9,90	64,10	12,38
CV	2,80	366,70	17,60	20,84	1/137,3	0,70	92,20	4,43
CL	3,70	101,70	20,00	5,09	1/32,9	2,39	65,74	12,93

3.3.2.2. *Diagnose de P, S e Micronutrientes*

A instalação, adubação de plantio e condução do ensaio foi semelhante a do ensaio do estudo da relação K/(Ca+Mg). Neste caso, entretanto, nos tratamentos a omissão de um nutriente implicou na completa ausência desse na adubação de plantio.

A diferença básica neste ensaio foi a incubação dos solos, onde as doses de potássio e magnésio foram definidas em função da produção de grãos e de matéria seca total do ensaio relação K/(Ca+Mg) (tabela 4).

Tabela 4. Doses de potássio e magnésio em mmol/dm³ e de KCl e MgCl₂ em g/vaso usadas na incubação do ensaio.

Solo	relação K/(Ca+Mg)	K	Mg	KCl	MgCl ₂
		-----mmol _e /dm ³ -----		-----g/vaso-----	
LVA	1/6,86	14,60	-	1,631	-
LA	1/10,26	5,80	7,40	0,648	1,128
CV	1/377,51	-	-	-	-
CL	1/51,83	4,50	10,80	0,503	1,646

Durante a condução do ensaio, foram feitas semanalmente aplicações de inseticida organofosforado DDVP-500, com o intuito de evitar o ataque do vírus mosaico dourado (VMD), em razão de existir na casa de vegetação plantas hospedeiras; mesmo assim no final do ciclo, as plantas apresentaram-se afetadas.

3.3.3. Análise Química dos Solos

3.3.3.1. Estudo da Relação $K/(Ca+Mg)$

Coletaram-se amostras de terra antes da adubação de plantio e após a colheita e foram determinados os teores de potássio, cálcio e magnésio, usando como extrator a resina trocadora de íons, como citado anteriormente (quadro 5).

Com estas amostras também foram determinados valores de potencial potássio-cálcio-magnésio, segundo FASSBENDER & LAROCHE (1968).

O potencial de potássio em relação ao potencial de cálcio mais magnésio foi expresso em função do logaritmo inverso das atividades iônicas (FASSBENDER, 1972).

$$\text{Potencial de potássio} = pK - 0,5p(Ca+Mg)$$

A atividade do ion (K, Ca, Mg) foi calculada em função da concentração analítica (m_i) versos o coeficiente de atividade do ion na solução (f)

$$a = f.m_i$$

Os coeficientes de atividade (f) foram calculados pela equação de Debye-Huckell

$$\log f = - \frac{A Z_i^2 \sqrt{u}}{1 + dB \sqrt{u}}$$

A e B - são constantes cujos valores dependem da natureza do solvente e da temperatura;

Z_i = representa o número de oxidação do ion;

d - raio iônico efetivo do ion;

u - força iônica da solução.

Tabela 5 . Valores médios de potássio, cálcio e magnésio (mmol/dm³), relações Ca/Mg e K/(Ca+Mg) atingidos para os solos LVA, LA, CV e CL.

K/(Ca+Mg)	mmol/dm ³				K/(Ca+Mg)
a ser atingida	K	Ca	Mg	Ca/Mg	atingida
Latossolo Vermelho Amarelo					
1/6,5	12,43	127,67	22,54	5,66	1/12,11 (0,083)
1/5,5	13,17	123,67	21,88	5,65	1/11,05 (0,090)
1/4,5	15,42	120,53	21,93	5,50	1/9,24 (0,108)
1/3,5	19,56	112,33	21,87	5,13	1/6,86 (0,145)
Latossolo Amarelo					
1/7,7	7,31	83,26	13,36	6,23	1/13,22 (0,076)
1/6,7	7,80	81,93	13,54	6,03	1/12,25 (0,082)
1/5,7	8,65	81,33	13,14	6,19	1/10,92 (0,092)
1/4,7	11,09	83,67	13,92	6,01	1/8,80 (0,114)
1/8,4	6,09	83,87	20,26	4,14	1/17,10 (0,058)
1/7,4	7,55	81,13	21,48	3,78	1/13,59 (0,074)
1/6,4	8,04	79,86	20,26	3,94	1/12,45 (0,080)
1/5,4	9,63	78,20	20,60	3,80	1/10,26 (0,097)
Cambissolo Vértico					
1/137,3	1,15	414,66	19,48	21,29	1/377,51 (0,003)
1/48,0	1,78	412,66	18,48	22,33	1/242,21 (0,004)
1/24,2	3,27	465,33	18,59	25,03	1/147,99 (0,007)
1/19,3	4,26	460,00	18,26	25,19	1/112,27 (0,009)
1/170,6	1,04	412,66	77,93	5,30	1/471,72 (0,002)
1/48,8	2,23	435,33	90,18	4,83	1/235,65 (0,004)
1/24,4	2,56	458,66	83,50	5,49	1/211,78 (0,005)
1/19,5	4,72	409,33	77,93	5,25	1/103,23 (0,010)
Cambissolo Latossólico					
1/32,9	1,87	127,00	19,21	6,61	1/78,19 (0,013)
1/19,6	2,76	131,67	20,04	6,57	1/54,73 (0,018)
1/15,8	3,50	130,83	20,04	6,53	1/43,11 (0,023)
1/13,1	4,03	131,50	20,32	6,47	1/37,67 (0,027)
1/35,8	1,94	128,83	26,72	4,82	1/80,18 (0,012)
1/20,1	3,13	130,50	28,95	4,51	1/50,94 (0,020)
1/16,2	3,03	129,50	27,56	4,70	1/51,83 (0,019)
1/13,4	3,90	132,67	27,56	4,81	1/41,08 (0,024)

A força iônica da solução foi calculada pela seguinte equação:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} m_i z_i^2$$

3.3.3.2. Diagnose de P, S e Micronutrientes

Com as amostras de solo coletadas antes da adubação de plantio e após o cultivo, foram determinados os teores de:

1. P disponíveis (extrator Resina e Olsen)
2. K/Ca, Mg trocáveis (extrator resina)
3. S disponíveis (extrator NH₄OAc em HOAc)
4. Cu, Fe, Mn, Zn (extrator DTPA)
5. B (extrator CaCl₂ 2H₂O 0,1%)

3.3.4. Análise Química do Material Vegetal

3.3.4.1. Estudo da Relação K/(Ca+Mg)

Foram feitas as determinações analíticas de potássio, cálcio e magnésio nas folhas na floração e no final do ciclo da cultura e nos grãos do feijoeiro segundo técnica descrita por MALAVOLTA (1964).

3.3.4.2. Diagnose de P, S e Micronutrientes

O teor e acumulação de fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas folhas do feijoeiro (na floração) e nos grãos foram determinadas pelo plasma, com a mineralização feita via úmida, por digestão nítroperclórica, adicionando-se 5 ml HNO_3 concentrado e 1,3 ml HClO_4 concentrado para 0,5g de material seco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. *Características Físicas, Mineralógicas e Químicas dos Solos*

Os resultados apresentados neste item, serviram de orientação para definição da adubação e dos tratamentos dos ensaios conduzidos. Em função da falta de informação na área de química e fertilidade dos solos calcários da microrregião de Irecê-BA, estes resultados também serviram para avaliação inicial da sua fertilidade, uma vez que ainda não foram estabelecidos critérios para análise dos solos desta região semi-árida baiana, nem tão pouco critérios para interpretação de resultados de análises de solo e recomendação de adubação.

4.1.1. *Análises Granulométricas*

A análise granulométrica (tabela 6) mostra que o Latossolo Vermelho amarelo (LVA) e o Latossolo Amarelo (LA) apresentam a classe textural argilosa. Já o Cambissolo Vértico (CV) e o Cambissolo Latossólico (CL) apresentam classe textural muito argilosa. Com o aumento do teor de argila nestes dois últimos solos, ocorre aumento na superfície de adsorção, consequentemente fenômenos relacionados à retenção de umidade e a adsorção de fósforo tendem a aumentar.

Pela tabela 6 nota-se também, que as percentagens do grau de floculação são inversamente proporcionais as variações de argila em água. Segundo CUNHA (1992) nos solos tropicais (muito evoluídos), o ferro, na forma férrica, junto com os minerais de argila caoliniticos, formam microagregados bastante estáveis. Nestas circunstâncias, a argila natural é baixa, sendo alto o

grau de floculação. O grau de floculação do Cambissolo Vértico, de 84%, indica boas condições de estrutura do solo e resistência à erosão, devido a grande parte de argila encontrar-se floculada.

Tabela 6. Análise granulométrica¹ das amostras dos solos estudados

Solo	Areia						Silte	Argila		Floculação	Classe Textural
	MG	G	M	F	MF	Total		Total	Água		
	-----%										
LVA	-	-	11	13	3	27	22	51	32	38	argilosa
LA	-	1	27	15	3	46	10	45	25	44	argilosa
CV	-	-	4	8	2	14	22	64	10	84	muito argilosa
CL	-	-	4	13	4	21	16	62	23	63	muito argilosa

¹ Metodologia: Método do densímetro - Análise realizada pelo Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo da ESALQ - Piracicaba-SP

- Classe de diâmetro (mm):
- Com cinco frações de areia : muito grossa = 2-1; grossa = 1-0,5; Média = 0,5-0,25; Fina = 0,25-0,10; Muito Fina = 0,10-0,05; Total = 2-0,05; silte = 0,05-0,002; Argila total <0,002; argila H₂O < 0,002
- Com duas frações de areia: grossa = 2-0,25; Fina = 0,25-0,05
- Classe de Textura: até 14% - arenosa; 15 a 24% - média-arenosa; 25-34% - média argilosa; 35-57% - argilosa; 60% ou superior - muito argilosa

4.1.2. Análises Mineralógicas

O difratograma da fração silte dos solos estudados, acusou a ocorrência de minerais feldspatos, plagioclásio e pirofilita, com exceção do Cambissolo Latossólico (CL) que não registrou a presença de plagioclásio (tabela 7). Os minerais foram identificados pelos seus picos: feldspatos (4,19; 4,15; 4,11; 3,77; 3,67; 3,65; 3,42; 3,27; 2,92 e 2,52 A°); plagioclásio (3,20; 3,18; 2,86; 1,96 e 1,95 A°) e pirofilita (2,44; 2,42; 2,26; 2,25; 2,23; 2,22; 2,21; 2,15; 2,11; 1,80; 1,66 e 1,65 A°) (Figuras 1,2,3 e 4). Os picos 4,19 A°, 4,15A°, 4,11 A° e 3,27A° evidenciam uma nítida dominância dos minerais de feldspatos.

Vale ressaltar serem os feldspatos fonte de potássio, plagioclásio fonte de sódio e cálcio e a pirofilita fonte de alumínio.

Figura 1. Difratoograma de raio X da fração silte do Latossolo Vermelho Amarelo

Figura 2. Difratoograma de raio X da fração silte do Latossolo Amarelo

Figura 3. Difratoograma de raio X da fração silte do Cambissolo Vértico

Figura 4. Difratoograma de raio X da fração silte do Cambissolo Latossólico

Tabela 7. Composição mineralógica qualitativa das amostras do LVA, LA, CV e CL estudados

Minerais	SOLO			
	LVA	LA	CV	CL
Silte	Feldspato	Feldspato	Feldspato	Feldspato
	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Pirofilita
	Pirofilita	Pirofilita	Pirofilita	
Argila	Caulinita	Caulinita	Montmorilonita	Caulinita
	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita
	Mica	Mica	Mica	Mica
	Gibbsita	Gibbsita	Caulinita	Gibbsita
	Quartzo	Quartzo	Quartzo	Quartzo

Os feldspatos e os plagioclásios geram os produtos:

1. Bases solúveis KOH, Ca(OH)_2 , NaOH que, ou se perdem por lixiviação ou são absorvidos pelos vegetais, ou são adsorvidos ao complexo do solo.
2. Bases insolúveis, Ca(OH)_2 , formando CaCO_3 .
3. Forma ácido silícico, que se perde na drenagem, se o meio for alcalino, ou então, aí permanece, se este for ácido.

Apesar da pirofilita ser fonte de alumínio, provavelmente a não presença de alumínio nas análises químicas dos solos, seja em função do pH dos solos encontra-se em torno de 7,0 onde não ocorre alumínio solúvel.

REZENDE (1982) chama atenção que é na fração grosseira, silte e areia, que se encontra os minerais capazes de fornecer, após intemperização, nutrientes para as plantas. Em razão disto, pela análise mineralógica da fração silte, pode-se, pelos minerais encontrados, ter uma boa idéia do potencial do solo em fornecimento de nutrientes.

Os difratogramas da fração argila da amostra do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e Latossolo Cambissólico (CL) apresentam semelhança em termos qualitativos (tabela 7). Possivelmente a

caulinita é o mineral predominante em termos quantitativos, pois apresentou os maiores picos (figuras 5, 6 e 8). No difratograma do Cambissolo Vértico (CV) e montmorilonita apareceu com os maiores picos, o que provavelmente indica sua predominância (figura 7), não aparecendo neste solo a gibbsita (tabela 7). Os picos que identificaram os minerais foram: Caulinita (7,13; 7,08; 4,56; 4,43; 3,56; 3,53 Å), montmorilonita (17,0 e 12,1 Å), vermiculita (14,2; 14,0; 13,8; 13,1 e 12,6 Å), mica (10,5; 10,4; 10,0; 9,82; 9,72; 5,0; 4,98; 4,92 Å), gibbsita (4,90; 4,87; 4,84; 4,43; 4,39; 4,37; 4,34 Å), quartzo (4,23; 4,21 Å).

Trabalhando com solos descarbonatados do calcário bambuí da região de Irecê, SANTOS (1976) constatou que estas rochas, quando dissolvidas, liberam uma quantidade importante de argilo-minerais 2:1, o que explica a presença da montmorilonita, vermiculita e mica no LVA e LA que são derivados do mesmo material calcário. Afirma ainda o autor que a atual mineralogia das argilas destes solos é função do processo evolutivo (monossilização), aos quais estes solos foram submetidos. Segundo FORTUNATO (1982), em função dos Cambissolos apresentarem uma pedogênese mais incipiente, tem a sua mineralogia muito mais próxima dos argilo minerais contidos no calcário.

Figura 5. Difratoograma de raio X da fração argila do Latossolo Vermelho Amarelo

Figura 6. Difratoograma de raio X da fração argila do Latossolo Amarelo

Figura 7. Difratoograma de raio X da fração argila do Cambissolo Vértico

Figura 8. Difratoograma de raio X da fração argila do Cambissolo Latossólico

4.1.3. Análises Químicas

Seguindo a Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo (1985), observa-se na tabela 8 que, para a determinação do pH em CaCl_2 , os solos LVA, LA, CV e CL apresentaram acidez muito baixa. No pH em água segundo a Comissão Estadual de Fertilidade do Solo do Estado da Bahia (1989), o CL apresenta uma acidez fraca, o LA alcalinidade fraca, o LVA alcalinidade média e o CV uma alcalinidade elevada. Os valores de ΔpH de ambos os solos são negativos, o que sugere solos mais novos, onde há predominância de carga elétrica líquida negativa.

Os teores de matéria orgânica encontrados no LVA, LA e CL são considerados médios, e o valor encontrado no CV é classificado como alto. Este valor mais alto, possivelmente, é favorecido pela textura muito argila (com 64% de argila total) e segundo EVANS & RUSSEL (1959) pela ação estabilizante provocada principalmente pelo maior teor de cálcio encontrado no Cambissolo Vértico.

Os valores de fósforo extraídos pelo extrator resina (tabela 8) são considerados baixo no CV, médio no LA e alto no LVA e CL. Segundo THOMAS & PEASLEE (1973), para o extrator Mehlich o fósforo disponível é médio no LA e considerado alto para o LVA, CV e CL; no extrator Olsen os valores são altos para todos os solos, todavia para extrator Bray 1 os teores são considerados baixos para os solos LVA, LA e CV e médio para o CL. Vale ressaltar, que o Cambissolo Vértico (CV), apareceu como teores baixo de fósforo para o extrator resina e Bray 1 e como teores altos para os extratores Mehlich e Olsen, segundo THOMAS & PEASLEE (1977) e OLSEN & KHASAWNEW (1980) isto acontece em virtude da ação dos diferentes extratores sobre as formas de fósforo presentes nos solos. Através da tabela 7 verifica-se que na fração argila o CV foi o único solo a não acusar a presença da gibbsita, $\text{Al}(\text{OH})_3$, que tem um alto poder adsorvente, o que também pode ter influenciado na ação dos extratores.

Tabela 8. Características químicas das amostras dos solos estudados

Características Químicas	Solos			
	LVA	LA	CV	CL
pH em água (1:2,5)	7,9	7,3	8,2	6,7
pH em KCl (1:2,5)	6,9	6,5	7,2	5,4
pH em CaCl ₂ (1:2,5)	6,5	6,4	7,3	5,7
Δ pH	-1,0	-0,8	-1,0	-1,3
MO (g/dm ³) ⁽¹⁾	25,0	20,7	31,7	23,0
MO (g/dm ³) ⁽²⁾	25,2	20,6	34,9	24,3
P-resina (mg/dm ³)	46	30	8	52
P-Mehlich (mg/dm ³)	60	36	47	59
P-Olsen (mg/dm ³)	47	34	13	79
P-Bray 1 (mg/dm ³)	14	11	1	19
S (mg/dm ³) ⁽³⁾	14	14	10	8
K-resina (mmol _c /dm ³) ⁽⁴⁾	17,00	10,40	2,80	3,70
K-Mehlich (mmol _c /dm ³)	12,67	8,09	2,90	2,92
Na-Mehlich (mmol _c /dm ³) ⁽⁵⁾	1,1	0,6	1,5	0,6
Ca-resina (mmol _c /dm ³) ⁽⁶⁾	84,70	67,30	366,70	101,70
Ca-Mehlich (mmol _c /dm ³)	60,36	38,86	258,26	82,66
Mg-resina (mmol _c /dm ³) ⁽⁷⁾	26,00	13,00	17,60	20,00
Mg-Mehlich (mmol _c /dm ³)	28,70	15,56	27,23	22,13
Al (mmol _c /dm ³) ⁽⁸⁾	0,00	0,00	0,00	0,00
H ⁺ +Al ³⁺ (mmol _c /dm ³) ⁽⁹⁾	12	14	10	29
CaCO ₃ (equivalente %) ⁽¹⁰⁾	0,99	0,77	2,40	0,91
S (mmol _c /dm ³) ⁽¹¹⁾	128,8	91,3	388,6	126,00
T (mmol _c /dm ³) ⁽¹²⁾	140,8	105,3	398,6	155,00
V (%) ⁽¹³⁾	91,48	86,70	97,49	81,29
m (%) ⁽¹⁴⁾	0	0	0	0
SiO ₂ (%)	13,8	12,7	17,6	17,4
Al ₂ O ₃ (%)	12,0	11,5	11,8	14,6
Fe ₂ O ₃ (%)	4,6	3,0	6,3	6,4
TiO ₂ (%)	0,29	0,31	0,27	0,39
Ki ⁽¹⁵⁾	1,95	1,88	2,53	2,03
Kr ⁽¹⁶⁾	1,57	1,61	1,89	1,58

⁽¹⁾ Método colorimétrico (Quaggio e Raij, 1979)

⁽²⁾ Método combustão por via seca do "Carmograph 12A" da H. Wösthoff KG.

⁽³⁾ Extrator NH₄OAC 0,5N em HOAC 0,25N

⁽⁴⁾ Alumínio trocável - extrator KCl 1N (RAIJ et al., 1987)

⁽⁵⁾ Acidez potencial - solução tampão SMP (RAIJ et al., 1979)

⁽¹⁰⁾ Neutralização com HCl (RICHARDS, 1954)

⁽¹¹⁾ Soma de bases trocáveis (4+5+6+7)

⁽¹²⁾ Capacidade de troca de cátions (S+H+Al³⁺)

⁽¹³⁾ Saturação de bases (S/T.100)

⁽¹⁴⁾ Saturação de alumínio (Al³⁺/(S+Al³⁺).100)

⁽¹⁵⁾ Relação molecular SiO₂/Al₂O₃

⁽¹⁶⁾ Relação molecular SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃)

Os valores de enxofre disponível (tabela 8) do LVA e LA são ligeiramente superiores aos encontrados no CV e CL, e em ambos os solos superiores ao nível crítico encontrado por KILMER & NEARPASS (1960) que foi de 10 mg/dm^3 usando o extrator NaHCO_3 pH 8,5 para solos calcários dos Estados Unidos, tendo como planta indicadora o algodoeiro, como também ao nível crítico de 2 mg/dm^3 encontrado por VITTI *et al.* (1982) em solos do Estado de São Paulo, usando como extrator NH_4OAC 0,5N em HOAC 0,25N e o feijoeiro como planta indicadora.

Os valores da soma de bases (S) como pode visualizar-se na tabela 8 encontram-se altos em todos os solos. Os teores de potássio trocável são considerados muito altos para o LVA e LA, alto para o CL e médio para o CV. Cálcio e magnésio trocáveis podem ser considerados muito alto e alto respectivamente para todos os solos. As quantidades de sódio do solo LVA e CV são o dobro do LA e CL e para ambos os solos os valores muito próximos dos encontrados por CUNHA (1992) nos mesmos tipos de solos. As percentagens de potássio, cálcio, magnésio e sódio respectivamente na soma de bases para o LVA são: 13,20; 65,76; 20,19 e 0,85%; no LA 11,39; 73,71; 14,24 e 0,55%; no CV 0,72; 94,36; 4,53 e 0,39% e para CL 2,94; 80,71; 15,87 e 0,48%. Em todos os solos observa-se no equilíbrio de bases uma predominância de $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Segundo BOYER (1971), nos solos relativamente bem dotados em bases, carências de potássio aparecem com o teor de K inferior a 2% da soma das bases trocáveis, nesta situação, apenas no CV apresenta a percentagem de potássio abaixo de 2% da soma de bases, todavia, o teor de $2,8 \text{ mmol/dm}^3$ de K trocável no CV esta acima do nível crítico de potássio no solo de $2,0 \text{ mmol/dm}^3$ tendo como planta indicadora o feijoeiro (van RAIJ, 1974).

A saturação de bases segundo a Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo (1985), é considerada alta para os solos LA e CL e muito alta para LVA e CV.

Pela tabela 8 verifica-se que não foi detectado alumínio trocável pela metodologia empregada nos solos estudados, o que induz a uma nula saturação de alumínio, reflexo do alto teor de bases trocáveis.

A acidez potencial foi maior no CL que nos demais solos, tabela 8, mostrando com isto, a maior presença de cargas dependentes de pH.

Os valores da CTC ou valor T são considerados altos para todos os solos, apresentando as seguintes percentagens de potássio, cálcio, magnésio, sódio e H+Al respectivamente: LVA - 12,07; 60,16; 18,47; 0,78 e 8,52%. LA - 9,88; 63,91; 12,35; 0,57 e 13,30%. CV - 0,70; 92,00; 4,42; 0,38 e 2,51%, CL - 2,39; 65,61; 12,90; 0,39 e 18,71%. Observa-se no equilíbrio de bases para o LVA uma predominância de: $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+} > (\text{H}^{+} + \text{Al}^{+++}) > \text{Na}$; para o LA e CL $\text{Ca}^{++} > (\text{H}^{+} + \text{Al}^{+++}) > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ e no CV $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > (\text{H}^{+} + \text{Al}^{+++}) > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$.

A participação efetiva de $(\text{H}^{+} + \text{Al}^{+++})$ na CTC sugere que as cargas negativas estão sendo ocupadas por ions de hidrogênio ligados covalentemente, mostrando o potencial de cargas dependentes de pH destes solos.

Os teores de carbonato de cálcio são baixos e o solo CV que apresenta o maior teor, é também o que possui 94,36% de cálcio na soma de bases e 92,00% na CTC.

A relação molecular sílica/alumina (Ki) foi estabelecida para avaliar o grau de evolução dos solos, bem como o tipo de alteração que foi submetido (tabela 8). Pelos valores de Ki, de acordo com VERDADE (1975), pode-se inferir que o tipo de argila predominante no Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA) e Cambissolo Latossólico (CL) é do tipo 1:1 (caulinita) com presença de hidróxido de alumínio livre (gibbsita), e no Cambissolo Vértico do tipo 2:1 sem presença de gibbsita. A relação molecular sílica/alumina (Ki) serão tanto menores quanto mais avançado for o estágio, de meteorização do material. Vale ressaltar, que as conclusões tiradas da relação Ki estão de acordo com as conclusões extraídas do difratograma de raio-X (tabela 7) e (figuras 11, 12, 13 e 14).

Pela tabela 9 observa-se que os extratores comportaram-se diferentemente quanto à capacidade de extrair os micronutrientes do solo. O extrator Mehlich extraiu mais boro, ferro, manganês e zinco e menos cobre. Os maiores valores extraídos pelo Mehlich, podem ser explicados por ser o extrator ácido suficientemente enérgico, acidificando o solo durante o período de agitação, provocando a solubilização dos micronutrientes (BATAGLIA & RAIJ, 1989).

CAMARGO *et al.* (1982) verificaram que o extrator DTPA discriminava o efeito do pH sobre a disponibilidade de micronutrientes no solo, enquanto o extrator Mehlich não conseguia discriminar o efeito da elevação do pH para cobre, ferro, manganês e zinco. Além deste trabalho, outros autores

encontraram vantagens do extrator DTPA (solução complexante) sobre o extrator Mehlich (solução ácida) (MURAOKA *et al.*, 1983 a, b; RIBEIRO & TUCUMANGO SARABIA, 1984). A literatura sugere portanto, ser o extrator DTPA o mais conveniente para os micronutrientes acima citados.

BATAGLIA & RAIJ (1989), em testes conduzidos com B, mostraram que os coeficientes de correlação entre os teores no solo e a absorção pela planta de girassol foram maiores para água quente e solução de CaCl_2 0,01M a quente do que para o extrator Mehlich, o que também sugere serem os resultados de boro extraído com CaCl_2 os mais adequados neste caso.

Tabela 9. Resultados de análise química de micronutrientes (mg/dm^3) das amostras dos solos estudados

Características Químicas	Solos			
	LVA	LA	CV	CL
B ⁽¹⁾	1,82	1,34	2,37	1,04
B ⁽²⁾	0,60	0,57	0,45	0,40
Cu ⁽¹⁾	0,90	0,50	0,43	1,13
Cu ⁽³⁾	1,16	0,87	1,07	1,45
Fe ⁽¹⁾	9	6	8	12
Fe ⁽³⁾	6	5	7	18
Mn ⁽¹⁾	231	239	113	77
Mn ⁽³⁾	27	31	14	68
Zn ⁽¹⁾	3,53	3,43	2,13	3,90
Zn ⁽³⁾	0,99	0,89	0,59	1,13

^(1.) extrator - HCl 0,05N + H_2SO_4 0,25N

⁽²⁾ - extrator - CaCl_2 2H₂O 0,1%

⁽³⁾ extrator DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético)

4.2. Estudo da Relação $K/(Ca+Mg)$ no Solo

No Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) verifica-se o estudo de quatro relações $K/(Ca+Mg)$, e no Latossolo Amarelo (LA), Cambissolo Vértico (CV) e Cambissolo Latossólico (CL) oito relações em cada solo, sendo as quatro primeiras relações atingidas apenas com a adição de potássio e as quatro últimas com a utilização de potássio e magnésio, provocando com isto, uma mudança na relação Ca/Mg dos solos (tabela 5).

4.2.1. Produção de Grãos e Matéria Seca, Teores e Conteúdos de K, Ca, Mg, nas folhas, e nos Grãos do Feijoeiro em Função das Relações $K/(Ca+Mg)$ Aplicadas nos Solos

4.2.1.1. Produção de Grãos e Matéria Seca

Na tabela 10, considerando-se o ensaio como um todo, em média, a produção de grãos, matéria seca de: folhas, raízes, caule + ramos, vagem e total, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para o Latossolo Vermelho Amarelo observa-se uma ligeira tendência de aumento na produção de grãos na relação 1/11,05, diminuindo com o aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo. Ainda neste mesmo solo, na mais alta relação 1/6,86, ocorreu a maior produção de matéria seca total, que diferiu na produção da relação 1/12,11 pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Pela tabela 10 vê-se também no Latossolo Amarelo, apesar de não apresentar diferenças significativas, um aumento na produção de matéria seca total nas quatro últimas relações $K/(Ca+Mg)$ (1/17,10; 1/13,59; 1/12,45; 1/10,26), quando se abaixou a relação entre Ca e Mg, com adição de magnésio.

No Cambissolo Vértico (tabela 10), a maior produção de grãos ocorreu na relação $K/(Ca+Mg)$ 1/377,51. originária do solo, vale ressaltar, que este

solo possui o mais baixo teor de potássio trocável em relação aos demais (tabela 8), sendo classificado segundo a Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, como teor médio, apresentando 0,72% de K na soma de bases, abaixo dos 2% que segundo BOYER (1971), aparecem carência de K. Todavia, é importante citar que o teor de $2,8 \text{ mmol/dm}^3$ de K trocável encontrado no CV, está acima do nível crítico de K no solo segundo RAIJ (1974), para cultura do feijoeiro.

Analizando ainda a tabela 10, percebe-se no Cambissolo Latossólico uma ligeira tendência de aumento na produção de grãos nas quatro últimas relações $K/(Ca+Mg)$, onde se abaixou a relação entre Ca e Mg com adição de magnésio, culminando a maior produção de grãos na mais alta relação $K/(Ca+Mg)$ (1/41,08).

Tabela 10.Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso), para cultura do feijoeiro, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relações K/(Ca+Mg)	Grãos		Folha		Raízes		Caule + Ramos		Vagem		Total	
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>												
1 / 12,11	14,38	a	9,71	a	0,88	a	7,95	a	3,47	b	36,26	b
1 / 11,05	16,16	a	9,14	a	1,20	a	10,24	a	4,34	b	43,33	ab
1 / 9,24	15,91	a	9,41	a	1,26	a	12,49	a	4,48	b	41,29	ab
1 / 6,86	14,38	a	11,26	a	1,82	a	13,08	a	6,47	a	49,71	a
C.V. (%)	18,78		16,16		39,98		37,37		25,86		19,15	
<u>Latossolo Amarelo</u>												
1 / 13,22	16,20	a	8,82	a	1,48	a	8,63	a	4,67	a	39,80	a
1 / 12,25	15,12	a	8,81	a	2,27	a	8,11	a	4,63	a	38,93	a
1 / 10,92	14,77	a	9,25	a	1,96	a	10,03	a	4,79	a	40,80	a
1 / 8,80	16,48	a	8,56	a	1,93	a	8,26	a	5,00	a	40,23	a
1 / 17,10	14,11	a	8,93	a	1,60	a	8,36	a	3,72	a	36,71	a
1 / 13,59	16,04	a	8,88	a	2,58	a	7,54	a	4,65	a	39,69	a
1 / 12,45	13,59	a	9,29	a	4,81	a	9,51	a	4,55	a	41,75	a
1 / 10,26	15,26	a	10,91	a	4,46	a	11,92	a	5,22	a	47,78	a
C.V. (%)	24,14		13,48		57,11		24,65		16,71		16,41	
<u>Cambissolo Vértico</u>												
1 / 377,51	16,36	a	11,15	a	2,35	ab	9,22	a	6,22	a	45,30	a
1 / 242,21	12,58	a	12,54	a	1,84	ab	11,07	a	6,61	a	44,63	a
1 / 147,99	10,34	a	9,82	a	1,74	b	8,94	a	4,97	a	35,82	a
1 / 112,27	12,84	a	8,89	a	1,81	ab	7,77	a	4,96	a	36,27	a
1 / 471,72	12,36	a	17,14	a	4,30	a	13,03	a	5,92	a	52,74	a
1 / 235,65	10,00	a	12,14	a	2,53	ab	9,31	a	5,22	a	39,19	a
1 / 211,78	11,87	a	11,46	a	2,64	ab	8,72	a	5,09	a	39,78	a
1 / 103,23	12,39	a	13,77	a	2,88	ab	9,97	a	6,41	a	45,42	a
C.V. (%)	22,58		24,70		35,74		24,19		19,67		19,00	
<u>Cambissolo Latossólico</u>												
1 / 78,19	13,56	a	9,47	a	2,39	a	7,85	a	4,32	a	35,59	a
1 / 54,73	13,43	a	9,43	a	2,29	a	7,91	a	5,54	a	38,60	a
1 / 43,11	9,91	a	13,83	a	2,93	a	11,17	a	4,97	a	42,81	a
1 / 37,67	13,48	a	9,08	a	1,93	a	8,82	a	3,91	a	37,22	a
1 / 80,18	12,23	a	10,58	a	3,30	a	9,20	a	4,94	a	40,25	a
1 / 50,94	14,55	a	10,67	a	2,87	a	8,64	a	5,15	a	41,88	a
1 / 51,83	14,89	a	12,54	a	2,17	a	9,22	a	6,04	a	44,87	a
1 / 41,08	16,04	a	11,64	a	3,05	a	9,28	a	5,91	a	45,92	a
C.V. (%)	25,59		25,89		19,14		27,52		18,52		12,56	

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

4.2.1.2. Teores de K, Ca e Mg nas Folhas do Feijoeiro

A literatura tem evidenciado boas correlações entre o teor de K no solo, com o seu teor em várias espécies de plantas. Todavia, neste trabalho essa correlação não foi totalmente comprovada, pois de um modo geral os teores de potássio nas folhas do feijoeiro (na floração e no final do ciclo) não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, em função da elevação do nível de K trocável, caracterizado pelo aumento na relação $K/(Ca+Mg)$ no solo (tabela 11). Possivelmente os teores de potássio trocável existentes nos solos, considerado segundo a RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO (1985), muito alto para o LVA e LA, alto para o CL e médio para o CV, sejam as razões de não ocorrerem diferenças de absorção de potássio pelas plantas em função da adubação potássica efetuada. Essa explicação é reforçada ao verificar que exatamente no CV e CL onde se encontra os menores teores de potássio trocável (tabela 8), observa-se na tabela 11, uma tendência de aumento nos teores de potássio na folha do feijoeiro tanto na floração como no final do ciclo, em função do aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo, podendo ser melhor visualizada através das figuras 9, 10, 11 e 12. Todavia, vale ressaltar que nos gráficos da relação $Ca/Mg = 4,71$ das figuras 11 e 12, do Cambissolo Latossólico, os modelos não foram significativos, fazendo-se presente apenas para mostrar que abaixando a relação Ca/Mg de 6,55 para 4,71, ocorre uma maior dispersão dos pontos, evidenciando a influência da relação Ca/Mg do solo, sobre o aproveitamento do potássio pelo feijoeiro.

Na tabela 11, observa-se no LA, CV e CL que não houve aumento significativo pelo teste de Tukey a nível de 5% na concentração de cálcio nas folhas do feijoeiro (na floração e no final do ciclo) nas quatro primeiras relações $K/(Ca+Mg)$, onde a relação Ca/Mg é maior, informação essa, que não está de acordo com os resultados obtidos por WADDINGTON *et al.* (1972) e SOARES (1975 e 1983). Tal fato pode ser explicado em, razão dos níveis muito altos de cálcio trocável originalmente encontrado em ambos os solos.

Tabela 11. Teores médios de potássio, cálcio e magnésio (g/kg) nas folhas do feijoeiro, na floração e no final do ciclo da cultura, em função das relações K/(Ca+Mg), aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relações	K				Ca				Mg			
	Ciclo da Cultura											
	floração		final		floração		final		floração		final	
K/(Ca+Mg)												
Latossolo Vermelho Amarelo												
1 / 12,11	38,04	ab	26,53	a	17,88	a	76,58	a	3,36	a	3,73	a
1 / 11,05	35,31	b	25,19	a	16,73	a	76,50	ab	3,26	a	3,08	ab
1 / 9,24	37,19	ab	26,87	a	16,45	a	73,08	ab	3,24	a	3,04	b
1 / 6,86	39,92	a	26,03	a	15,77	a	69,75	b	3,13	a	2,66	b
C.V. (%)	7,02		7,66		12,05		5,68		11,23		13,57	
Latossolo Amarelo												
1 / 13,22	33,43	a	16,81	a	15,88	b	81,50	a	3,50	ab	3,52	ab
1 / 12,25	37,19	a	17,15	a	20,38	a	76,17	a	4,10	a	3,08	ab
1 / 10,92	35,48	a	18,82	a	20,13	a	76,33	a	3,18	ab	2,70	b
1 / 8,80	35,82	a	20,83	a	18,33	a	71,50	a	3,12	b	2,60	b
1 / 17,10	35,82	a	5,08	b	20,45	a	76,83	a	3,58	ab	4,57	a
1 / 13,59	36,84	a	15,14	a	17,12	b	75,66	a	3,79	ab	4,10	ab
1 / 12,45	36,50	a	17,48	a	16,87	b	64,83	a	3,68	ab	2,40	b
1 / 10,26	38,21	a	15,81	a	12,38	c	64,00	a	3,27	ab	3,40	ab
C.V. (%)	8,90		19,93		5,42		13,96		9,44		19,56	
Cambissolo Vértico												
1 / 377,51	27,62	b	8,43	cd	23,78	a	87,00	a	4,57	bc	6,35	b
1 / 242,21	34,45	ab	13,46	bc	21,02	ab	85,83	a	3,52	c	5,22	bc
1 / 147,99	37,87	ab	17,48	ab	16,33	c	79,83	a	3,12	c	3,85	c
1 / 112,27	33,77	ab	22,17	a	20,83	ab	85,67	a	3,10	c	3,95	c
1 / 471,72	28,99	b	6,42	d	22,97	ab	87,83	a	6,42	a	11,67	a
1 / 235,65	33,77	ab	12,45	bcd	19,30	bc	91,33	a	5,92	ab	10,83	a
1 / 211,78	32,75	ab	12,12	bcd	22,70	ab	93,17	a	5,85	ab	11,00	a
1 / 103,23	41,29	a	11,11	cd	23,38	ab	89,83	a	4,62	bc	11,17	a
C.V. (%)	10,87		16,61		6,92		5,84		13,14		7,45	
Cambissolo Latossólico												
1 / 377,51	26,94	b	3,07	a	23,40	a	84,67	ab	4,82	a	11,00	a
1 / 242,21	35,82	ab	7,09	a	21,92	a	82,17	ab	4,13	a	6,42	b
1 / 147,99	33,09	ab	11,44	a	24,33	a	94,00	a	4,75	a	5,23	b
1 / 112,27	36,84	a	11,45	a	23,45	a	82,00	ab	3,80	a	4,07	b
1 / 471,72	31,04	ab	8,76	a	23,90	a	83,33	ab	4,65	a	3,90	b
1 / 235,65	26,94	b	11,11	a	23,15	a	81,50	ab	4,87	a	5,93	b
1 / 211,78	30,02	ab	8,09	a	21,77	a	74,00	b	4,22	a	10,50	a
1 / 103,23	30,02	ab	8,09	a	24,52	a	72,67	b	4,45	a	4,93	b
C.V. (%)	10,75		39,54		7,31		7,36		12,39		19,24	

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Figura 9. Teores de K nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 10. Teores de K nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 11. Teores de K nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Cambissolo Latossólico.

Figura 12. Teores de K nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Cambissolo Latossólico.

Considerando a tendência dos valores absolutos da absorção de cálcio pelas plantas de feijoeiro (tabela 11). Verifica-se no LVA e LA que a elevação no nível de potássio disponível caracterizado pelo aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo, promoveu um decréscimo na absorção do cálcio, apresentando dessa forma um efeito antagônico sobre a absorção daquele cátion (figura 13, relação $Ca/Mg = 3,92$). Sabendo que ambos os solos possuem níveis muito altos de potássio trocável, com 13,20% e 11,39% respectivamente de potássio na soma de bases, essas tendências vem de acordo com BRADWAY & BUSSLER (1968) e PANDEI (1972) que observaram altas concentrações de potássio reduzirem a absorção de cálcio e magnésio para as culturas de aveia, feijão e girassol. Todavia, observa-se nas relações 1/13,22; 1/12,25; 1/10,92 e 1/8,80 e nos teores de cálcio nas folhas do feijoeiro na floração, que nas duas menores relações, onde os níveis de potássio no solo são mais baixos, ocorre uma influência benéfica do mesmo na absorção do cálcio pelas plantas e nas duas maiores relações, passa ocorrer influência depressiva do mesmo sobre a absorção do cálcio, esse sinergismo que ocorre nos níveis mais baixos, seguido de um antagonismo nos níveis mais elevados, pode ser melhor comprovado observando a figura 13, na relação $Ca/Mg = 6,12$.

O teor de magnésio nas folhas (floração e final do ciclo) de plantas de feijão, cultivada no solo LVA, LA e CL, não foi influenciado (tabela 11) significativamente pelo aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo e nem tampouco pela diminuição da relação Ca/Mg . Nestes solos de uma forma geral, a tendência foi uma redução no teor de magnésio com o aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo, o que pode ser visto na figura 14, como exemplo do que ocorre nos três solos, observando ainda, que com a diminuição da relação Ca/Mg , ocorreu uma maior dispersão dos pontos, tornando o modelo não significativo e provocando um maior desequilíbrio dos cátions no solo. Esses resultados vem de encontro com OMAR & KOBIA (1966) que observaram redução na absorção de magnésio em função do aumento nas concentrações de potássio.

No CV tabela 11, o teor de magnésio nas folhas do feijoeiro, na floração e no final do ciclo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em função da elevação do nível de potássio, caracterizado pelo aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo, todavia, difere quanto a relação Ca/Mg . Percebe-se que ocorreu uma maior absorção de magnésio nas

relações 1/471,72; 1/235,65; 1/211,78 e 1/103,23 quando diminuiu-se a relação Ca/Mg de 23,46 para 5,22. Pela tabela 10 visualiza-se que essa maior absorção de magnésio pela planta de feijão nessas relações, não interferiu na produção de grãos nem de matéria seca de folhas, raízes, caule + ramos e vagens. Nas figuras 15 e 16 nota-se, que o maior teor de magnésio nas folhas do feijoeiro na relação Ca/Mg = 5,23, provocou uma maior dispersão dos dados, tornando o modelo não significativo.

Levando em conta a variação do K, Ca e Mg nas folhas do feijoeiro na floração e no final do ciclo, observou-se nessa ensaio tabela 11, que os teores de K são mais elevados na floração, sugerindo que a translocação principalmente para formação das vagens seja a razão do ocorrido. Já os teores de Ca foram bem maiores nas folhas no final do ciclo que na floração, este aumento deve ter ocorrido em razão do desenvolvimento da planta, aliada a falta de redistribuição interna em função da sua mobilidade. Os teores de Mg na floração e no final do ciclo foram mais ou menos constantes, com pequena excessão. As variações encontradas nesse ensaio estão de acordo com os obtidos por HAAG *et al.* (1967). É importante chamar atenção que o teor de cálcio encontrado nesse trabalho, nas folhas do feijoeiro no final do ciclo, foi em média quatro vezes maior que o considerado adequado por MALAVOLTA *et al.* (1989). Todavia chama atenção os autores, que os valores indicados são muito gerais, e que condições de solo, clima e variedade poderão influenciar os mesmos. Nesse trabalho em particular, com certeza o solo influenciou bastante por se tratar de um solo calcário.

Figura 13. Teores de Ca nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 14. Teores de Mg nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações K / (Ca + Mg) aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 15. Teores de Mg nas folhas do feijoeiro, (na floração), em função das relações $K / (Ca + Mg)$ aplicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 16. Teores de Mg nas folhas do feijoeiro, (final do ciclo), em função das relações $K / (Ca + Mg)$ aplicadas no Cambissolo Vértico.

4.2.1.3. Teores e Conteúdos de K, Ca e Mg nos Grãos do Feijoeiro em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos

Observando a tabela 12, onde encontram-se os valores médios de potássio, cálcio e magnésio nos grãos do feijoeiro, tanto em teor como em conteúdo, nota-se que essas médias não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em função do incremento da relação K/(Ca+Mg) nos solos LVA, LA, CV e CL. Todavia, nas figuras 17 e 18 do LA, observa-se uma tendência de aumento de teor e quantidade de cálcio nos grãos do feijoeiro com o incremento da relação K/(Ca+Mg) no solo. Vale ressaltar, que esse aumento nos teores de cálcio nos grãos do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados, em nada influi na produção de grãos. Visualiza-se também nas figuras 17 e 18, que com a diminuição da relação Ca/Mg, o modelo linear não foi significativo, apresentando uma dispersão muito grande dos pontos.

É conveniente chamar atenção na tabela 12, que os teores de K, Ca e Mg nos grãos do feijoeiro, assemelha-se aos resultados obtidos por EL-HUSNY (1992); HAAG *et al.* (1967) e COBRA NETO *et al.* (1971), com pequenas variações em função das diferenças entre tratamentos, cultivares e metodologias peculiares de cada ensaio. Considerando, que somente os grãos abandonaram a propriedade agrícola, tona-se interessante observar na tabela 12, através dos seus valores médios de conteúdo, que o potássio foi o nutriente mais exportado seguido do cálcio e magnésio, o que está de acordo com os três autores citados. Apesar da literatura sempre afirmar ser o feijoeiro muito exigente em cálcio, somente uma pequena fração de cálcio é exportado através da colheita de grãos.

Tabela 12. Valores médios de potássio, cálcio e magnésio em teor (g/kg) e conteúdo (mg/vaso) nos grãos do feijoeiro, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relações	K				Ca		Mg					
	Produção de Grãos											
	teor		conteúdo		teor		conteúdo					
K/(Ca+Mg)												
Latossolo Vermelho Amarelo												
1 / 12,11	13,61	a	195,57	a	1,85	a	26,50	a	1,92	a	27,55	a
1 / 11,05	13,78	a	221,06	a	1,17	a	17,58	a	1,78	a	28,33	a
1 / 9,24	12,61	a	201,52	a	1,28	a	19,30	a	1,83	a	28,71	a
1 / 6,86	12,78	a	217,80	a	1,18	a	20,24	a	1,71	a	29,41	a
C.V. (%)	8,24		19,12		35,79		34,39		7,85		18,30	
Latossolo Amarelo												
1 / 13,22	10,45	a	168,27	a	1,12	c	18,14	a	1,67	b	26,91	a
1 / 12,25	13,11	a	196,21	a	1,73	b	26,39	a	1,90	a	28,65	a
1 / 10,92	11,78	a	174,12	a	2,10	ab	31,01	a	1,95	a	28,91	a
1 / 8,80	12,11	a	198,74	a	2,25	a	37,11	a	1,93	a	31,95	a
1 / 17,10	12,11	a	162,87	a	2,20	a	30,78	a	1,93	a	27,29	a
1 / 13,59	12,78	a	206,09	a	2,35	a	37,71	a	1,98	a	31,86	a
1 / 12,45	13,45	a	186,78	a	2,27	a	30,44	a	1,92	a	25,83	a
1 / 10,26	12,78	a	195,06	a	2,27	a	34,88	a	2,00	a	30,64	a
C.V. (%)	10,21		25,33		7,17		25,98		4,10		24,66	
Cambissolo Vértico												
1 / 377,51	12,78	a	209,03	a	2,17	a	35,52	a	1,92	a	31,41	a
1 / 242,21	12,11	a	153,37	a	2,12	a	26,63	a	1,80	a	22,60	a
1 / 147,99	15,45	a	161,63	a	2,12	a	21,73	a	1,88	a	19,37	a
1 / 112,27	13,45	a	163,62	a	2,10	a	27,19	a	1,88	a	24,20	a
1 / 471,72	14,11	a	174,46	a	2,07	a	25,57	a	1,78	a	22,07	a
1 / 235,65	14,11	a	140,17	a	2,10	a	20,99	a	1,83	a	18,37	a
1 / 211,78	15,11	a	179,55	a	2,02	a	23,86	a	1,78	a	21,15	a
1 / 103,23	14,11	a	175,85	a	2,22	a	27,26	a	1,78	a	22,14	a
C.V. (%)	9,96		21,60		7,14		23,56		4,34		23,27	
Cambissolo Latossólico												
1 / 377,51	12,45	a	168,76	a	2,18	b	29,60	ab	1,75	a	23,73	a
1 / 242,21	12,78	a	171,67	a	2,18	b	29,20	ab	1,75	a	23,26	a
1 / 147,99	15,45	a	146,03	a	2,65	ab	24,29	b	1,88	a	18,57	a
1 / 112,27	11,78	a	159,34	a	2,12	b	28,52	ab	1,65	a	22,27	a
1 / 471,72	11,78	a	146,43	a	2,22	b	27,08	b	1,63	a	20,24	a
1 / 235,65	13,11	a	192,44	a	2,23	b	32,52	ab	1,63	a	23,84	a
1 / 211,78	13,11	a	193,81	a	2,27	b	33,72	ab	1,72	a	25,61	a
1 / 103,23	14,11	a	220,72	a	3,43	a	54,71	a	1,77	a	28,55	a
C.V. (%)	13,16		27,01		15,71		29,99		5,86		27,74	

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Figura 17. Teores de Ca nos grãos do feijoeiro , em função das relações $K / (Ca + Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 18. Quantidade de Ca nos grãos do feijoeiro, em função das relações $K / (Ca + Mg)$ aplicadas no Latossolo Amarelo.

4.2.2. Potencial de K em Função das relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos

O potencial de potássio estima a relação nutricional na solução do solo entre o cátion monovalente K e os divalentes Ca+Mg (BULL, 1986), a partir do qual pode-se chegar a energia livre do K no solo ($\Delta\bar{G}$), que determina a quantidade de trabalho que uma planta tem que realizar para deslocar em equivalente grama de nutriente do solo.

Ambos os parâmetros podem ser visualizados na tabela 13, onde se vê:

1. no LVA. O potencial de potássio-cálcio-magnésio antes do cultivo variou de 1,13 a 1,29 e após o cultivo 1,38 a 1,75; a energia livre de K no solo ($\Delta\bar{G}$) antes do cultivo -1756 a -1546 cal/eq e após cultivo -2386 a -1881 cal/eq.
2. No LA. Nas quatro primeiras relações K/(Ca+Mg), onde a relação Ca/Mg foi 6,12, o potencial de K variou antes do cultivo de 1,31 a 1,46 e após o cultivo de 1,75 a 1,97; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo de -1995 a -1788 cal/eq e após de -2686 a -2384 cal/eq. Nas quatro últimas relações K/(Ca+Mg), na relação Ca/Mg igual 3,92, o potencial de K variou antes do cultivo de 1,42 a 1,56 e após 1,74 a 2,01; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo de -2125 a -1934 cal/eq após -2742 a -2379 cal/eq.
3. No CV. nas quatro primeiras relações K/(Ca+Mg), que possui a relação Ca/Mg = 23,46, o potencial de K variou antes do cultivo de 1,95 a 2,61 e após 2,62 a 3,13; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo de -3563 a -2655 cal/eq e após -4571 a -3580 cal/eq. Nas quatro últimas relações K/(Ca+Mg), com a relação Ca/Mg= 5,22, o potencial de K variou antes do cultivo de 2,05 a 2,73 e após 2,12 a 2,92; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo de -3727 a -2792 cal/eq e após -3986 a -2895 cal/eq.
4. No CL. Nas quatro primeiras relações K/(Ca+Mg), com a relação Ca/Mg= 6,55, o potencial de K variou antes do cultivo de 1,99 a 2,36 e após 2,10 a 2,75; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo de -3220 a -2717 cal/eq. E após de -3757 a -2862 cal/eq. Nas

quatro últimas relações $K/(Ca+Mg)$, com $Ca/Mg = 4,71$; o potencial de K variou antes do cultivo de 2,03 a 2,39 e após 2,47 a 2,72; o $\Delta\bar{G}$ antes do cultivo -3261 e -2775 cal/eq e após o cultivo -3713 a -3374 cal/eq.

Pela tabela 13, tanto para o potencial de K como para o $\Delta\bar{G}$, observa-se no LVA antes e após o cultivo e no LA, CV e CL antes do cultivo, que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Todavia, não diferem para LA, CV e CL após o cultivo. No LA, CV e CL antes do cultivo onde as médias diferem significativamente, percebe-se também a influência da relação Ca/Mg no solo sobre o potencial de K e $\Delta\bar{G}$, resultado esse que concorda com SOARES (1975).

Tabela 13. Potencial de potássio ($pK-0,5p(Ca+Mg)$), e energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log(aK/\sqrt{a(Ca+Mg)})$) em calorias/equivalente antes e após o cultivo dos solos, em função das relações $K/(Ca+Mg)$, aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relações K / (Ca+Mg)	Potencial de K		$\Delta \bar{G}$	
	Antes	Após	Antes	Após
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>				
1 / 12,11	1,29 a	1,75 a	-1756 d	-2386 c
1 / 11,05	1,27 b	1,59 b	-1733 c	-2169 b
1 / 9,24	1,21 c	1,53 bc	-1650 b	-2085 ab
1 / 6,86	1,13 d	1,38 c	-1546 a	-1881 a
CV (%)	0,54	5,93	-0,54	-5,94
<u>Latossolo Amarelo</u>				
1 / 13,22	1,46 c	1,97 a	-1995 d	-2686 a
1 / 12,25	1,43 d	1,78 a	-1956 c	-2430 a
1 / 10,92	1,37 e	1,96 a	-1871 b	-2669 a
1 / 8,80	1,31 f	1,75 a	-1788 a	-2384 a
1 / 17,10	1,56 a	2,01 a	-2125 f	-2742 a
1 / 13,59	1,53 b	1,95 a	-2087 e	-2663 a
1 / 12,45	1,47 c	1,80 a	-2010 d	-2455 a
1 / 10,26	1,42 d	1,74 a	-1934 c	-2379 a
CV (%)	0,63	8,06	-0,63	-8,06
<u>Cambissolo Vértico</u>				
1 / 377,51	2,61 a	3,13 a	-3563 d	-4571 b
1 / 242,21	2,38 b	2,84 a	-3245 c	-3871 b
1 / 147,99	2,12 cd	2,83 a	-2893 ab	-3864 b
1 / 112,27	1,95 d	2,62 ab	-2655 a	-3580 ab
1 / 471,72	2,73 a	2,92 a	-3727 d	-3986 b
1 / 235,65	2,35 b	2,54 ab	-3210 c	-3458 ab
1 / 211,78	2,32 bc	2,77 ab	-3168 bc	-3779 ab
1 / 103,23	2,05 d	2,12 b	-2792 a	-2895 a
CV (%)	3,34	9,04	-3,34	-9,04
<u>Cambissolo Latossólico</u>				
1 / 377,51	2,36 a	2,10 b	-3220 d	-2862 a
1 / 242,21	2,19 b	2,75 a	-2988 c	-3744 b
1 / 147,99	2,08 bcd	2,75 a	-2838 abc	-3757 b
1 / 112,27	1,99 d	2,48 ab	-2717 a	-3379 ab
1 / 471,72	2,39 a	2,51 ab	-3261 d	-3421 ab
1 / 235,65	2,17 bc	2,54 ab	-2956 bc	-3469 ab
1 / 211,78	2,18 bc	2,47 ab	-2972 bc	-3374 ab
1 / 103,23	2,03 cd	2,72 a	-2775 ab	-3713 b
CV (%)	2,40	8,31	-2,40	-8,31

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Analisando-se as figuras 19 a 32 observa-se, para os quatro solos, que o aumento da relação $K/(Ca+Mg)$ no solo diminui o potencial de potássio e aumenta a energia livre de troca ($\Delta\bar{G}$). A diminuição do potencial de potássio é caracterizado pelo aumento nos valores da atividade de K em relação à atividade de Ca+Mg. Este efeito foi observado dentro de ambos os valores da relação Ca/Mg. As equações de regressões lineares e quadráticas entre as relações $K/(Ca+Mg)$ no solo e os dados de potencial de K e $\Delta\bar{G}$, alcançaram coeficiente de determinação (R^2) alto, como podem ser vistos nas figuras de 19 a 32, com exceção das regressões após o cultivo do solo, pois como foi discutido anteriormente, os valores não foram significativos, não apresentando neste caso R^2 com bons ajustes. Estão apresentados apenas para mostrar não ser um bom referencial a determinação do potencial de K e $\Delta\bar{G}$ após o cultivo.

É importante chamar atenção, que apesar das diferenças estatísticas entre os valores de potencial de potássio e da energia livre de troca no solo ($\Delta\bar{G}$), a produção de grãos e de matéria seca de folhas, raízes, caule + ramos, vagem e matéria seca total (tabela 10) não apresentaram diferenças estatísticas, com exceção da produção de vagem e matéria seca total no LVA, entre a maior (1/6,86) e a menor (1/12,11) relação $K/(Ca+Mg)$ no solo.

Também foram realizadas análise de regressão, tendo como variável, independente os valores de potencial de K e $\Delta\bar{G}$, e como variável dependente os valores de produção de grãos e de matéria seca total, todavia, os coeficientes de correlações obtidos não foram significativos.

Figura 19. Potencial de potássio (pK - 0,5 p (Ca + Mg)), antes e após o cultivo do solo em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Latossolo Vermelho Amarelo.

Figura 20. Energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log (aK / \sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes e após o cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Latossolo Vermelho Amarelo.

Figura 21. Potencial de potássio (pK - 0,5 p (Ca + Mg)), antes do cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 22. Potencial de potássio (pK - 0,5 p (Ca + Mg)), após o cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 23. Energia livre de troca $D\bar{G}$ ($1364 \log (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes do cultivo do solo, em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 24. Energia livre de troca $\Delta\bar{G}$ ($1364 \log (aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) após o cultivo do solo em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Latossolo Amarelo.

Figura 25. Potencial de potássio ($\text{pK - 0,5 p (Ca + Mg)}$), antes do cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg) , apicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 26. Potencial de potássio ($\text{pK - 0,5 p (Ca + Mg)}$), após o cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg) , apicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 27. Energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log(aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes do cultivo do solo, em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 28. Energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log(aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) após o cultivo do solo em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Cambissolo Vértico.

Figura 29. Potencial de potássio (pK - 0,5 p (Ca + Mg)), antes do cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Cambissolo Latossólico.

Figura 30. Potencial de potássio (pK - 0,5 p (Ca + Mg)), após o cultivo do solo, em função das relações K / (Ca + Mg), aplicadas no Cambissolo Latossólico.

Figura 31. Energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log(aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) antes do cultivo do solo, em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Cambissolo Latossólico

Figura 32. Energia livre de troca $\Delta \bar{G}$ ($1364 \log(aK/\sqrt{a(Ca + Mg)})$) após o cultivo do solo, em função das relações $K / (Ca + Mg)$, aplicadas no Cambissolo latossólico.

Analisando a tabela 13 observa-se um aumento nas variações dos valores do potencial de K entre antes e após o cultivo, dentro das diferentes relações $K/(Ca+Mg)$ nos solos, como também nota-se uma diminuição nos valores de ΔG nesse mesmo sentido.

WOODRUF (1955a) afirma que os valores de $pk-0,5ca$ menores que 1,5 normalmente estão associados com absorção excessiva de potássio ou deficiência de cálcio, já os valores entre 1,8 e 2,2 representam equilíbrio adequado entre cálcio e potássio para nutrição das plantas. Chama atenção também o autor que para valores maiores que 2,6 ocorreria deficiência de potássio. Da mesma forma BULL (1986) observou deficiência de K em valores de $pk - 0,5p (Ca+Mg)$ maiores que 2,6 para cultura de gramínea isolada e consorciadas e leguminosa consorciada. De acordo com os limites de potencial de K relatado no início deste capítulo, encontrou-se potencial de K menor que 1,5 no LVA e LA, entre 1,8 e 2,2 no LA, CV e CL e maior que 2,6 e no CV e CL. Na condição desse trabalho, pela análise química de K nas folhas do feijoeiro, pode-se afirmar não ter ocorrido absorção excessiva de potássio. Também não foi observado em nenhum momento deficiência de potássio e de cálcio, seja por sintoma visual ou através dos resultados de análise de solo e planta. Desta forma, nenhum destes critérios se enquadram para os solos estudados, dando a entender, serem outros os limites de potencial de potássio em solos calcáreos, que atenda os critérios comentados pela literatura. No caso específico de deficiência de potássio, pode-se deduzir que o valor limite para deficiência possivelmente seja superior a 2,6. Semelhantemente para energia livre de troca ($\Delta\bar{G}$) WOODRUF (1955a) e KRASAWNER (1971) relataram que solos são deficientes em potássio, quando ΔG for menor que -3500 cal/equivalente; o mesmo WOODRUF & McINTOSH (1966) reformula o critério para -4000 cal/equivalente, e para BARROWS *et al.* (1967) o limite pode ser de -6000 cal/equivalente. Neste ensaio chegou-se até aproximadamente -4000 cal/equivalente e como foi comentado anteriormente não se observou deficiência de potássio. Caso venha acontecer deficiência de K nesses solos, provavelmente o limite deve ser um valor menor que -4000 cal/equivalente.

4.2.3. Teores de K, Ca e Mg Trocáveis Recuperados Antes e Após o Cultivo dos Solos em Função das Relações K/(Ca+Mg) Aplicadas nos Solos

Pela tabela 14, no solo LA, CV e CL onde nas quatro primeiras relações K/(Ca+Mg) de cada solo, tem-se a relação Ca/Mg originária dos solos, e nas quatro últimas a relação Ca/Mg modificada pela adição de magnésio, verifica-se em ambos os solos, que a relação Ca/Mg não influenciou o teor de potássio e cálcio trocável, com as médias não diferindo significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Dado este que está de acordo com as informações de SOARES (1978). Todavia, como era de se esperar, influenciou significativamente o teor de magnésio trocável, principalmente antes do cultivo em função do magnésio, adicionado nas quatro últimas relações K/(Ca+Mg) do solo, como comentado acima.

Observa-se também na tabela 14, que o teor de potássio trocável antes do cultivo, dentro das duas relações Ca/Mg, diferem significativamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, em função da elevação do nível de potássio trocável, caracterizado pelo aumento na relação K/(Ca+Mg) do solo, possivelmente os teores de potássio após o cultivo não diferiram significativamente, em decorrência da extração pelas plantas de feijão. Também, os teores de cálcio e magnésio antes e após o cultivo não apresentaram diferenças com o aumento da relação K/(Ca+Mg) no solo.

Tabela 14. Valores médios de potássio, cálcio e magnésio trocáveis ($\text{mmol}_e/\text{dm}^3$), recuperados antes e após o cultivo dos solos, em função das relações K/(Ca+Mg) aplicadas no LVA, LA, CV e CL.

Relações K/(Ca+Mg)	K		Ca		Mg	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
Latossolo Vermelho Amarelo						
1 / 12,11	12,43 c	3,69 c	127,67 a	89,75 a	22,55 a	21,71 a
1 / 11,05	13,17 c	4,64 bc	123,67 a	79,55 a	21,88 a	19,77 b
1 / 9,24	15,42 b	5,90 b	120,53 a	82,75 a	21,93 a	20,46 ab
1 / 6,86	19,56 a	8,15 a	112,33 a	85,30 a	21,2 a	19,91 b
CV (%)	6,57	20,98	9,22	11,64	3,38	4,44
Latossolo Amarelo						
1 / 13,22	7,31 de	1,47 c	83,27 a	59,60 ab	13,36 b	9,46 c
1 / 12,25	7,80 cd	1,80 bc	81,93 a	64,53 ab	13,58 b	12,81 abc
1 / 10,92	8,65 bc	2,09 abc	81,33 a	65,47 ab	13,14 b	11,13 abc
1 / 8,80	11,09 a	2,82 ab	83,67 a	64,07 ab	13,92 b	10,30 bc
1 / 17,10	6,09 e	1,96 abc	83,87 a	68,13 a	20,26 a	15,87 a
1 / 13,59	7,55 cd	2,41 abc	81,13 a	66,53 ab	21,49 a	16,14 a
1 / 12,45	8,04 cd	3,02 a	79,87 a	53,33 b	20,26 a	16,43 a
1 / 10,26	9,63 b	2,80 ab	78,20 a	53,13 b	20,60 a	15,31 ab
CV (%)	5,41	17,13	5,60	7,82	6,68	14,30
Cambissolo Vértico						
1 / 377,51	1,15 e	0,64 b	414,67 a	445,33 a	19,48 b	19,21 b
1 / 242,21	1,78 de	0,66 b	412,67 a	389,67 ab	18,48 b	18,93 b
1 / 147,99	3,27 bc	1,08 b	465,33 a	417,67 ab	18,59 b	20,88 b
1 / 112,27	4,26 ab	1,55 b	460,00 a	398,67 ab	18,26 b	19,49 b
1 / 471,72	1,04 e	0,88 b	412,67 a	368,67 b	77,93 a	61,24 a
1 / 235,65	2,24 cde	0,89 ab	435,33 a	355,00 b	90,18 a	67,92 a
1 / 211,78	2,56 cd	1,74 b	458,67 a	402,00 ab	83,50 a	65,41 a
1 / 103,23	4,72 a	3,49 a	409,33 a	389,67 ab	77,93 a	72,09 a
CV (%)	16,98	41,11	10,47	5,94	9,27	13,54
Cambissolo Latossólico						
1 / 377,51	1,87 d	1,05 a	127,00 a	81,87 a	19,21 c	10,86 a
1 / 242,21	2,76 c	1,03 a	131,67 a	91,93 a	20,04 c	16,70 a
1 / 147,99	3,50 abc	1,32 a	130,83 a	96,33 a	20,04 c	27,28 a
1 / 112,27	4,03 a	1,15 a	131,50 a	80,20 a	20,32 c	14,20 a
1 / 471,72	1,94 d	1,62 a	127,00 a	85,93 a	26,72 b	23,10 a
1 / 235,65	3,13 bc	1,37 a	130,50 a	91,60 a	28,95 a	24,50 a
1 / 211,78	3,03 c	1,28 a	129,50 a	86,00 a	27,56 ab	21,71 a
1 / 103,23	3,90 ab	1,25 a	132,67 a	91,87 a	27,56 ab	25,33 a
CV (%)	9,26	28,63	2,07	10,37	2,37	29,30

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

4.3. *Diagnose por Subtração de P, S e Micronutrientes*

4.3.1. Produção de Grãos e Matéria Seca

O efeito dos tratamentos sobre a produção de grãos e matéria seca de: folha, raízes, caule + ramos, vagem e total podem ser vistos nas tabelas 15 e 16, já na tabela 17 visualiza-se a produção relativa de grãos. Vê-se, de uma forma geral, que as médias não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, com pequenas exceções. Possivelmente, isto ocorreu em função do alto coeficiente de variação do ensaio. Todavia, é conveniente chamar atenção, para alguns pontos que possam ter contribuído para este alto coeficiente:

1. O péssimo estado de manutenção da casa de vegetação, com problemas no teto, trazendo no período chuvoso sérios transtornos.
2. Presença na casa de vegetação de plantas hospedeiras do vírus Mosaico Dourado (VMD), apesar de pulverizações semanais, no final do ciclo as plantas apresentaram-se afetadas.
3. Pode-se ainda admitir, que para produções baixas como as do ensaio, normalmente o C.V. é alto.

Desta forma, onde não existir diferenças estatísticas, será comentado as tendências dos dados.

Observa-se na tabela 15, no LVA, diferença estatística na produção de grãos, entre o tratamento com omissão de fósforo e os tratamentos com omissão de boro e zinco. Todavia, para o LA e para CV e CL na tabela 16, o tratamento menos fósforo não difere estatisticamente dos demais. Pela tabela 17, na produção relativa, verifica-se que o tratamento com omissão do fósforo apresentou redução em ambos os solos, com a maior redução no CV, o que é explicado pelo seu menor teor de fósforo em relação aos demais solos (tabelas 8 e 31). De acordo com o que foi discutido no item 4.1.3. Análises Químicas, verifica-se, que os teores de fósforo para todos os solos é considerado de médio a alto pelos extratores, resina, Mehlich, Olsem. Sendo no extrator Bray 1 os teores considerados baixos no LVA, LA e CV e médio no CL. Isto sugere, possivelmente, ser o extrator Bray o mais indicado para os solos calcários de Irecê, uma vez que além da redução na produção de grãos em relação ao tratamento completo, durante todo o ciclo da cultura, em ambos os solos, as

plantas apresentaram sintomas de deficiência de fósforo. É importante chamar atenção que no final do ciclo, observou-se sintomas de deficiência de fósforo também nos tratamentos completos do LVA, LA e CL, com maior predominância no solo LA. No LVA, a produção de grãos no tratamento menos enxofre, difere significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, dos tratamentos menos boro e menos zinco. No LA, CV e CL não ocorreu diferenças estatísticas. Todavia, observe-se na tabela 17, que na produção relativa de grãos, ocorre uma redução em relação ao tratamento completo em todos os solos, o que é justificado pelo sintoma de deficiência nas folhas durante o ciclo da cultura. Apesar dos teores de enxofre dos solos encontra-se acima do nível crítico citado no item 4.1.3 Análises Químicas, observa-se que esses solos respondem a aplicação de enxofre. Sendo possivelmente, mais alto os níveis críticos de enxofre para os solos calcários de Irecê.

O tratamento com omissão de boro, diferiu significativamente no LVA dos tratamentos com omissão de enxofre, fósforo e testemunha, não diferindo nos demais solos. Na produção relativa de grãos (tabela 17), detecta-se que a omissão de boro no LVA e LA provocou um aumento na produção relativa e no CV e CL praticamente igualou-se ao tratamento completo. Pressupõe-se, que este aumento na produção relativa no LVA e LA, seja função de uma possível toxicidade em função da aplicação de boro na adubação de plantio, pois foi verificado durante o cultivo amarelamento e margens necróticas nas folhas primárias, apesar dos teores de boro nas folhas (tabela 24) não serem considerados tóxicos (MALAVOLTA, 1989; EL-HUSNY, 1992).

A produção de grãos no tratamento menos cobre no LVA, difere estatisticamente do tratamento menos zinco, não apresentando diferenças estatísticas no LA, CV e CL (tabelas 15 e 16). Todavia, a produção relativa na tabela 17, mostra uma redução no tratamento com omissão de cobre em relação ao tratamento completo no solo LVA e CV, um aumento no solo LA e uma produção relativa praticamente semelhante no CL. Visualiza-se na tabela 31, que o solo LA é o que possui menor teor de cobre, e foi o que apresentou aumento na produção relativa, provavelmente o nível crítico de cobre neste solo seja mais baixo que nos demais, provocando com a adubação de plantio uma possível toxicidade de cobre. Idéia essa, sustentada pela ocorrência de clorose internerval seguidas de necrose e desfolhamento precoce durante o cultivo do feijoeiro, semelhante aos sintomas

descritos por MALAVOLTA *et al.* (1989). Apesar dos teores de cobre nas folhas (tabela 24) não serem considerados tóxicos.

No LVA, o tratamento com omissão de ferro diferiu significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade do tratamento com omissão de zinco, no LA, CV e CL não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos. Ao observar o solo LVA na tabela 17, percebe-se, no tratamento menos ferro, uma redução na produção relativa de grãos e praticamente para o LA, CV e CL as produções relativas do tratamento menos ferro assemelham-se ao tratamento completo. Os teores de ferro em ambos os solos, encontram-se bem acima do nível crítico de $3,8 \text{ mg/dm}^3$, encontrado por ELGALA *et al.* (1986), em experimentos conduzidos em vasos com solos calcários do Egito, usando como extrator o DTPA, o mesmo usado nesse ensaio. Além dos teores contidos na tabela 31, o experimento foi adubado com Fe na adubação de plantio, exceto no tratamento com omissão de ferro. Apesar, desse alto teor de Fe nos solos estudados, não pode-se admitir problema de toxidez, uma vez que não ocorreu diferença significativa entre a produção de grãos no tratamento com omissão de ferro e o tratamento completo (tabelas 15, 16 e 17). Paradoxalmente o que se observou foi clorose das folhas novas, seguida de um leve branqueamento, todavia, não se pode de forma nenhuma afirmar que os solos são deficientes em ferro, pois, segundo MENGEL & GEURTZEN (1986) a deficiência de ferro em plantas desenvolvidas em solos calcários, muitas vezes é confundida com o efeito das altas concentrações de carbonatos e Ca^{2+} sobre a disponibilidade de ferro. Tem sido demonstrado que o efeito observado pode ser causado por excesso de HCO_3^- , cujas as altas concentrações provocam uma inibição na capacidade de redução da raiz, absorção de Fe, translocação as folhas e imobilização do ferro no interior das plantas. Pela Tabela 15, observa-se no LVA que o tratamento menos manganês difere estatisticamente do tratamento testemunha, entretanto não difere de nenhum tratamento nos demais solos (tabela 16). Observando a tabela 17, verifica-se no LA, um aumento na produção relativa de grãos no tratamento com omissão de manganês em relação ao tratamento completo. Já para os solos CV e CL ocorre uma redução e no LVA a produção relativa de grãos é praticamente semelhante ao do tratamento completo. A redução na produção relativa sugere ocorrer possivelmente no CV e CL deficiência de manganês. Como os teores de manganês nesses solos são considerados altos, essa deficiência segundo MALAVOLTA & MURAOKA (1991) ocorre em solos com pH acima de 6, devido a

formação de óxidos de Mn insolúveis, chama ainda atenção os autores que a redução na disponibilidade de manganês é de 100 vezes para aumento de uma unidade de pH do solo. Segundo os mesmos, desbalanços em relação a cálcio, magnésio e ferro podem causar a deficiência de manganês. VOSE & JONES (1963) afirmam não ser simples a elevação do pH responsável pela deficiência de manganês, trabalhando com trevo, comprovaram o efeito negativo do cálcio na absorção do manganês. A produção relativa alta no tratamento com omissão de manganês em relação ao tratamento completo, sugere para o LA a possibilidade de toxicidade de manganês nesse solo. Apesar, dos teores nas folhas do feijoeiro serem considerados adequados (MALAVOLTA, 1989). E o teor de manganês no solo LA ser bem inferior ao teor do solo CL.

Na produção de grãos do LVA na tabela 15, percebe-se que o tratamento menos zinco diferiu significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade dos tratamentos testemunha, com omissão de fósforo, enxofre, cobre e ferro. Não diferindo de nenhum tratamento nos demais solos. A produção relativa de grãos, mostra um aumento no tratamento com omissão de zinco em relação ao tratamento completo no solo LVA e LA e uma redução no CV e CL (tabela 17). Esta redução induz a uma deficiência de zinco no solo CV, que foi onde ocorreu a maior redução, o que é justificado, pois, o solo CV é o que possui menor teor de zinco, e apresentou também em todas repetições do tratamento, sintoma de deficiência de zinco muito visível durante o cultivo. Considerando os teores de zinco dos solos mais os teores utilizados na adubação de plantio, possivelmente, essa deficiência seja em razão de formação de hidróxidos e carbonatos de zinco de baixa solubilidade em pH elevado o que provoca um decréscimo na absorção de zinco (LINDSAY, 1972). Da mesma forma, segundo CHAUDHRY & LONERAGAN (1972) o efeito direto do cálcio provoca diminuição na absorção de zinco por plantas de trigo, é como esses solos são ricos em cálcio isto é provável de ter acontecido. O aumento da produção relativa no tratamento menos zinco, no solo LA mostra a possibilidade de ter ocorrido toxicidade de zinco uma vez que os teores de zinco nesses solos estão acima do nível crítico e a adubação de plantio poderá ter causado essa toxicidade nos solos. Apesar, dos teores de zinco nas folhas do feijoeiro encontrar-se na faixa adequada (MALAVOLTA, 1989).

Tabela 15 . Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso) para cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	Graos	Folha	Raizes	Caule + Ramos	Vagem	Total
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>						
Completo	5,09 abc	5,08 a	2,25 a	2,87 a	1,66 abcd	16,93 abcd
Testemunha	1,59 d	3,20 a	1,74 a	1,83 a	0,75 e	9,10 d
- P	3,08 cd	4,06 a	1,25 a	2,10 a	1,22 cde	11,70 cd
- S	2,30 cd	3,87 a	2,63 a	2,45 a	1,16 de	12,41 bcd
- B	6,86 ab	5,62 a	1,88 a	3,39 a	2,10 ab	19,85 abc
- Cu	4,29 bcd	6,91 a	1,72 a	4,75 a	2,01 abc	19,69 abc
- Fe	3,56 bcd	6,19 a	1,76 a	3,84 a	1,39 bcde	16,74 abcd
- Mn	5,63 abc	6,67 a	2,08 a	4,67 a	1,95 abcd	21,00 ab
- Zn	7,84 a	6,45 a	1,49 a	3,99 a	2,26 a	22,04 a
C.V. (%)	26,61	27,08	28,92	42,71	18,27	17,81
<u>Latossolo Amarelo</u>						
Completo	2,76 a	4,70 a	2,77 a	3,20 a	1,29 ab	14,72 a
Testemunha	0,61 a	3,52 a	1,69 a	2,37 a	0,28 b	8,46 a
- P	2,56 a	3,88 a	1,76 a	2,25 a	1,03 ab	11,48 a
- S	2,19 a	3,78 a	3,75 a	2,98 a	1,32 ab	14,01 a
- B	6,16 a	5,85 a	3,64 a	3,89 a	2,61 a	22,15 a
- Cu	4,84 a	5,15 a	3,32 a	3,43 a	1,76 ab	18,51 a
- Fe	2,89 a	4,41 a	3,05 a	2,90 a	1,16 ab	14,42 a
- Mn	5,85 a	5,04 a	2,77 a	3,05 a	1,87 ab	18,58 a
- Zn	8,89 a	5,60 a	3,11 a	3,40 a	2,42 a	20,42 a
C.V. (%)	65,82	25,50	27,87	28,80	47,90	30,11

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 16. Valores médios de produção de grãos e acúmulo de matéria seca nas folhas, raízes, caule + ramos, vagens debulhadas e total (g/vaso), para cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	Grãos	Folhas	Raízes	Caula + Ramos	Vagem	Total
Cambissolo Vértico						
Completo	5,26 a	7,98 a	3,05 a	5,41 a	2,22 a	23,93 a
Testemunha	0,00 a	1,72 b	0,58 c	1,19 b	0,13 b	3,62 b
- P	0,09 a	1,95 b	0,85 bc	1,50 ab	0,11 b	4,50 b
- S	2,06 a	4,29 ab	3,02 a	2,65 ab	1,01 ab	13,03 ab
- B	5,41 a	5,42 ab	2,70 ab	3,36 ab	2,10 a	18,99 a
- Cu	3,47 a	6,14 ab	3,13 a	3,76 ab	1,59 ab	18,09 a
- Fe	5,83 a	6,88 a	3,41 a	4,21 ab	2,22 a	22,56 a
- Mn	3,20 a	5,72 ab	3,71 a	3,85 ab	1,52 ab	18,01 a
- Zn	2,21 a	4,66 ab	2,32 abc	3,01 ab	1,09 ab	13,30 ab
C.V. (%)	67,70	32,70	25,25	44,41	44,30	29,42
Cambissolo Latossólico						
Completo	5,05 a	7,03 a	2,67 abc	4,98 a	1,63 a	21,35 ab
Testemunha	2,34 a	3,57 a	1,33 c	2,17 a	1,05 a	10,46 c
- P	2,56 a	4,49 a	1,73 bc	2,45 a	1,17 a	12,40 bc
- S	2,94 a	4,91 a	3,75 a	3,72 a	1,56 a	16,89 abc
- B	4,65 a	4,87 a	2,64 abc	2,90 a	1,69 a	16,74 abc
- Cu	5,42 a	7,30 a	2,62 abc	5,09 a	1,93 a	22,36 a
- Fe	4,72 a	4,98 a	3,30 ab	3,19 a	1,67 a	17,86 abc
- Mn	3,15 a	7,37 a	3,20 ab	5,28 a	1,16 a	20,15 ab
- Zn	4,11 a	9,02 a	2,30 abc	6,19 a	1,25 a	22,87 a
C.V. (%)	61,60	32,28	22,05	49,20	34,93	17,28

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 17. Produção relativa de grãos em função dos tratamentos aplicados no LVA, LA, CV e CL

Tratamento	Grãos (Prod relativa)			
	LVA	LA	CV	CL
Completo	100	100	100	100
Testemunha	31	22	0	46
-P	60	93	2	51
-S	45	79	39	58
-B	135	223	103	92
-Cu	84	175	66	107
-Fe	70	105	111	94
-Mn	111	212	61	62
-Zn	154	213	42	81

4.3.2. Teor e Conteúdo de Fósforo

Nas tabelas 18, 19, 20, 21, 22 e 23 são apresentados, respectivamente os teores de fósforo nas folhas e nos grãos do feijoeiro, como também as quantidades de fósforo exportadas nos grãos pela cultura. Observa-se nas tabelas 18 e 19 para os quatro solos estudados, que o teor de fósforo nas folhas do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Nas tabelas 18 e 19, visualiza-se que os maiores teores de fósforo nas folhas encontram-se: para o LVA, nos tratamentos com omissão de cobre e manganês; para o LA, no tratamento menos boro e para o CV e CL no tratamento menos zinco. Vale ressaltar, que as médias dos teores mais altos de fósforo nas folhas, não diferem significativamente das médias dos teores de fósforo no tratamento completo. Todavia, diferem significativamente das médias dos menores teores de fósforo do tratamento menos fósforo no LVA, CV e CL e do tratamento testemunha no LA.

Os maiores teores de fósforo nas folhas do feijoeiro, no tratamento menos zinco, no CV e CL, vem de encontro aos resultados do ensaio de AMBLER &

BROWN (1969), que constataram haver mais acúmulo de fósforo em plantas de feijão submetidas à deficiência de zinco.

Nos grãos (tabelas 20 e 21), o menor teor de fósforo ocorreu para o LVA e LA no tratamento testemunha, para o CV nos tratamentos testemunha e menos fósforo e para o CL no tratamento menos manganês. Em ambos os solos, a omissão de enxofre apresentou o maior teor de fósforo, provavelmente, isto tenha acontecido em função do efeito de concentração, dado a pequena produção de grãos deste tratamento, resultados semelhantes foram encontrados por EL-HUSNY (1992). Nas tabelas 22 e 23, os menores conteúdos de fósforo correspondem ao tratamento testemunha para o LVA, LA e CL e no testemunha e menos fósforo para o CV. Com os maiores conteúdos na omissão de zinco e ferro para o LVA e CV respectivamente e diferindo estatisticamente do completo, e na omissão de boro e no tratamento completo para o LA e CL respectivamente, sem apresentarem diferenças significativas do tratamento completo.

É importante observar, que os menores teores e conteúdos de fósforo tanto nas folhas como nos grãos, é proporcionado pelos tratamentos testemunha e pela omissão de fósforo, mesmo com o alto teor do nutriente no solo LVA, LA e CL (tabela 30).

Os teores de fósforo apresentados nas folhas e nos grãos do feijoeiro, de uma forma geral, estão de acordo com outros resultados (HAAG *et al.*, 1967; COBRA NETO *et al.*, 1971 e EL-HUSIN, 1992), quanto a distribuição de fósforo entre as folhas e os grãos os maiores teores encontram-se nos grãos, resultado idêntico foi obtido por COBRA NETO (1971) e EL-HUSIN (1992).

Em função dos baixos teores e conteúdos de fósforo nas folhas e nos grãos, quando se omitiu este elemento, como também, pelo efeito depressivo deste tratamento sobre a produção de grãos do feijoeiro, pode-se deduzir nas condições deste ensaio, que ambos os solos respondem a adubação fosfatada.

4.3.3. Teores e Conteúdo de K, Ca e Mg

Nas tabelas 18 e 19, observa-se que os teores de potássio nos quatro solos e os teores de cálcio e magnésio no LA e CL, diferem significativamente entre alguns tratamentos pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Todavia, os teores de cálcio e magnésio no LVA e CV não diferem estatisticamente.

No LVA os tratamentos que apresentaram o maior e menor teor de potássio nas folhas foram a testemunha e o menos ferro respectivamente. Os demais tratamentos somente com omissão de fósforo e cobre apresentaram diferenças estatísticas em relação ao completo. Observa-se nos teores de K, Ca e Mg no LA e K no CV, que a omissão do fósforo favoreceu a absorção em ordem decrescente do potássio, cálcio e magnésio e somente o teor de potássio apresentou diferença estatística em relação ao completo. Os dados obtidos neste ensaio no que se refere a absorção de potássio, mostram-se concordantes com os observados por COBRA NETO (1967). Percebe-se, também, no CL, que a omissão de cobre favoreceu também a absorção de potássio, cálcio e magnésio em ordem decrescente e da mesma forma somente a absorção de K difere do tratamento completo. Este fato pode ser justificado com o aumento da produção relativa do CL na omissão de cobre.

Pelas tabelas 20 e 22, observa-se que tanto os teores de K no LVA e LA, como seu conteúdo no LVA diferem significativamente entre o tratamento completo e testemunha. É importante também, verificar na tabela 21, que os tratamentos testemunha e menos fósforo no CV não atingiram produção de grãos, razão pela qual os teores de potássio, cálcio e magnésio são nulos.

Os teores de potássio, cálcio e magnésio encontrados nas folhas e nos grãos do feijoeiro, assemelham-se aos obtidos por HAAG *et al.* (1967), COBRA NETO *et al.* (1971) e EL-HUSIN (1992).

Nas tabelas 22 e 23 verifica-se, pelos conteúdos de potássio, cálcio e magnésio, que o potássio é o nutriente mais exportado seguido do cálcio e magnésio. Estes resultados são semelhantes aos obtidos no ensaio do estudo da relação $K/(Ca+Mg)$ e são confirmados pelos trabalhos dos autores acima citados.

4.3.4. Teores e Conteúdos do Enxofre

Observando as tabelas 18, 19, 20 e 21, percebe-se claramente ao comparar os teores de enxofre nas folhas e nos grãos de todos os tratamentos, que estes valores estão muito abaixo dos encontrados por MALAVOLTA *et al.* (1989), HAAG (1967), COBRA NETO (1971) e EL-HUSIN (1992). Os teores encontrados nos grãos e nas folhas neste ensaio, são cinco a dez vezes menores respectivamente, que os considerados adequados pelos autores para cultura do feijoeiro. Em função dos baixos teores de enxofre encontrados nas folhas e nos grãos do feijoeiro, como

também, pela redução na produção relativa de grãos (tabela 17), quando da omissão de enxofre, pode-se inferir que nas condições deste ensaio, todos os solos respondem a adubação com enxofre.

Os teores de enxofre em ambos os solos como foi discutido no item 4.1.3 Análises Químicas, são considerados altos e acima do nível crítico encontrado na literatura, independentemente dos 30 mg/dm³ de S adicionados na adubação de plantio.

Em solos áridos ou semi-áridos como a microrregião de Irecê-BA, o SO₄²⁻ precipita em grandes quantidades como sulfatos de Na, K, Ca, Mg. Para BOLAN *et al* (1993) nos solos calcários o Ca²⁺ é atraído eletrostaticamente à superfície de argilo-minerais gerando cargas positivas. O SO₄⁻ por sua vez também é atraído para sítios positivos onde fica adsorvido, diminuindo consequentemente sua disponibilidade nos solos.

Tabela 18 .Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>					
Completo	2,32 abc	13,87 cd	13,64 a	2,80 a	0,77 a
Testemunha	1,44 bc	22,88 a	13,68 a	3,13 a	1,24 a
- P	1,27 c	20,80 ab	15,11 a	2,81 a	1,06 a
- S	1,56 abc	13,83 cd	15,48 a	2,48 a	0,48 a
- B	2,21 abc	13,87 cd	14,75 a	2,37 a	0,96 a
- Cu	2,72 a	21,00 ab	14,58 a	3,19 a	1,24 a
- Fe	2,04 abc	13,03 d	10,50 a	2,19 a	0,62 a
- Mn	2,56 ab	14,55 cd	12,13 a	2,59 a	0,75 a
- Zn	2,36 abc	17,42 bc	12,09 a	2,35 a	0,86 a
C.V. (%)	28,89	8,04	13,33	19,79	32,48
<u>Latossolo Amarelo</u>					
Completo	2,19 ab	14,49 bc	12,36 bc	2,51 ab	0,55 a
Testemunha	0,92 b	17,40 bc	11,33 c	2,49 ab	1,24 a
- P	1,32 ab	25,63 a	16,56 ab	3,17 a	1,24 a
- S	2,04 ab	16,27 bc	20,33 a	2,91 ab	0,63 a
- B	2,29 a	14,74 bc	13,95 bc	2,40 ab	0,66 a
- Cu	2,24 ab	14,35 bc	13,61 bc	2,37 ab	0,65 a
- Fe	1,96 ab	12,28 c	13,69 bc	2,28 b	0,70 a
- Mn	1,99 ab	18,48 b	14,42 bc	2,10 b	0,72 a
- Zn	2,21 ab	15,61 bc	16,47 ab	2,68 ab	0,74 a
C.V. (%)	24,11	11,09	11,02	11,36	35,40

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 19. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg) na folha do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	2,42 a	11,19 b	20,37 a	3,47 a	0,82 ab
Testemunha	1,02 bc	23,34 a	21,56 a	3,52 a	1,28 a
-P	0,83 c	26,07 a	22,18 a	2,88 a	1,25 a
-S	1,91 abc	10,16 b	19,22 a	2,86 a	0,70 ab
-B	2,40 a	12,05 b	17,21 a	2,74 a	0,71 ab
-Cu	1,97 ab	9,01 b	18,90 a	2,37 a	0,69 ab
-Fe	2,18 a	9,17 b	19,37 a	2,66 a	0,64 ab
-Mn	1,77 abc	9,40 b	18,45 a	2,20 a	0,55 b
-Zn	2,71 a	9,44 b	19,12 a	2,66 a	0,55 b
C.V. (%)	19,90	13,02	11,00	17,22	30,19
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	2,95 a	15,78 b	15,32 ab	2,95 ab	0,94 ab
Testemunha	1,24 bc	19,79 ab	15,09 ab	2,40 b	0,90 b
-P	1,13 c	18,72 ab	15,53 ab	2,46 b	1,12 ab
-S	2,09 abc	19,08 ab	17,25 ab	3,15 ab	0,77 b
-B	2,60 abc	19,85 ab	16,07 ab	2,98 ab	0,83 b
-Cu	2,64 ab	22,67 a	20,15 a	3,56 a	1,52 a
-Fe	2,42 abc	16,49 b	14,68 b	2,62 ab	0,88 b
-Mn	2,74 a	17,01 b	15,87 ab	2,84 ab	0,91 b
-Zn	3,15 a	18,51 ab	17,79 ab	3,52 a	1,01 ab
C.V. (%)	21,80	7,93	10,84	12,34	20,78

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 20. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg) nos grãos do feijoeiro em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>					
Completo	4,56	15,17	1,52	1,83	0,99
Testemunha	4,00	12,69	2,71	2,01	0,57
- P	4,27	13,06	2,02	1,73	1,25
- S	5,66	13,80	2,57	1,97	0,62
- B	4,60	13,23	1,73	1,66	0,95
- Cu	5,11	13,39	2,02	1,80	0,94
- Fe	5,10	12,79	1,94	1,76	0,60
- Mn	4,96	12,87	2,21	1,71	0,86
- Zn	4,71	13,84	2,39	1,87	0,81
C.V. (%)	7,81	5,58	26,45	5,64	30,83
<u>Latossolo Amarelo</u>					
Completo	5,43	12,14	2,30	1,76	0,68
Testemunha	1,01	4,03	0,72	0,60	0,30
- P	3,24	11,98	2,23	1,67	1,08
- S	5,43	11,55	2,75	1,86	0,48
- B	5,10	13,31	2,21	1,76	1,07
- Cu	5,03	11,36	2,32	1,78	0,70
- Fe	5,42	12,33	2,94	1,97	0,78
- Mn	4,92	11,12	2,93	1,80	0,57
- Zn	4,90	12,17	2,13	1,76	0,61
C.V. (%)	17,06	24,23	27,86	20,68	53,69

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 21. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (g/kg) nos grãos do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	5,19 a	12,69 a	2,86 a	1,81 a	0,82 a
Testemunha	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
- P	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
- S	5,89 a	12,77 a	3,41 a	1,92 a	0,52 a
- B	4,76 a	11,63 a	2,01 ab	1,82 a	0,60 a
- Cu	5,38 a	12,65 a	2,94 a	1,95 a	0,61 a
- Fe	5,02 a	12,65 a	2,13 a	1,85 a	0,56 a
- Mn	5,85 a	12,18 a	3,25 a	2,00 a	0,47 a
- Zn	5,47 a	12,65 a	2,52 a	1,86 a	0,52 a
C.V. (%)	12,97	9,00	34,13	8,32	34,05
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	5,41 a	12,89 a	2,23 a	1,66 a	0,76 ab
Testemunha	3,83 a	12,60 a	2,33 a	1,78 a	0,62 ab
- P	3,94 a	12,20 a	1,97 a	1,65 a	1,17 a
- S	5,97 a	12,53 a	3,17 a	1,92 a	0,58 ab
- B	5,15 a	12,84 a	2,06 a	1,90 a	0,59 ab
- Cu	5,16 a	13,09 a	2,24 a	1,83 a	0,76 b
- Fe	5,20 a	11,80 a	2,82 a	1,83 a	0,49 b
- Mn	3,68 a	8,54 a	2,13 a	1,16 a	0,44 b
- Zn	5,13 a	13,34 a	2,20 a	1,69 a	0,85 ab
C.V. (%)	26,00	21,98	37,58	20,26	28,56

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 22. Quantidades de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (mg/vaso) exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S					
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>										
Completo	23,20	bcd	77,11	abc	7,72	ab	9,32	abc	5,03	abc
Testemunha	6,23	e	19,28	d	4,48	b	3,10	d	1,01	c
- P	13,12	de	40,09	dc	6,20	b	5,31	cd	3,96	abc
- S	12,97	de	31,82	dc	5,92	b	4,54	cd	1,42	bc
- B	30,84	ab	90,66	ab	11,42	ab	11,28	ab	6,23	ab
- Cu	21,81	bcd	57,81	bcd	8,33	ab	7,69	bcd	4,02	abc
- Fe	18,10	bc	45,04	bcd	7,00	b	6,27	bcd	2,20	abc
- Mn	27,41	abc	73,22	abc	11,98	ab	9,63	abc	5,13	abc
- Zn	36,81	a	108,40	a	19,17	a	14,66	a	6,30	a
C.V. (%)	19,28		26,12		44,25		25,05		42,63	
<u>Latossolo Amarelo</u>										
Completo	14,37	a	33,73	a	6,18	a	4,84	a	1,66	a
Testemunha	1,83	a	7,34	a	1,31	a	1,09	a	0,55	a
- P	8,23	a	30,14	a	5,83	a	4,28	a	2,55	a
- S	11,78	a	25,26	a	5,91	a	4,07	a	1,04	a
- B	31,47	a	82,09	a	13,23	a	10,78	a	6,31	a
- Cu	24,49	a	55,47	a	11,11	a	8,53	a	3,54	a
- Fe	15,35	a	38,60	a	6,84	a	5,62	a	2,82	a
- Mn	25,77	a	66,85	a	14,24	a	10,13	a	3,56	a
- Zn	28,79	a	72,09	a	11,93	a	10,39	a	3,61	a
C.V. (%)	58,92		67,76		59,31		64,98		72,13	

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 23 . Quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (mg/vaso) exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	P	K	Ca	Mg	S
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	25,72 a	67,89 a	13,29 a	9,23 ab	4,62 a
Testemunha	0,00 b	0,00 a	0,00 b	0,00 b	0,00 a
- P	0,00 b	0,00 a	0,00 b	0,00 b	0,00 a
- S	12,34 ab	25,09 a	7,22 ab	3,93 ab	1,01 a
- B	24,92 a	62,37 a	10,04 a	9,72 a	3,49 a
- Cu	17,78 ab	43,15 a	9,04 a	6,52 ab	1,82 a
- Fe	26,97 a	77,01 a	10,69 a	10,31 a	3,93 a
- Mn	18,62 ab	38,90 a	10,21 a	6,39 ab	1,48 a
- Zn	12,07 ab	28,05 a	5,44 ab	4,08 ab	1,17 a
C.V. (%)	49,39	74,72	37,12	57,70	99,85
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	27,36 a	65,08 a	11,12 a	8,37 a	3,91 a
Testemunha	9,12 a	29,36 a	5,38 a	4,18 a	1,40 a
- P	10,01 a	31,13 a	4,86 a	4,21 a	3,01 a
- S	16,86 a	37,69 a	7,64 a	5,45 a	1,65 a
- B	24,00 a	59,86 a	9,67 a	8,81 a	2,75 a
- Cu	27,03 a	71,81 a	11,22 a	9,65 a	4,09 a
- Fe	23,98 a	56,68 a	12,73 a	8,58 a	2,37 a
- Mn	16,73 a	40,92 a	9,96 a	5,54 a	1,97 a
- Zn	20,82 a	55,07 a	8,38 a	6,87 a	3,22 a
C.V. (%)	58,41	64,80	59,27	59,43	60,06

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

4.3.5. Teor e Conteúdo de Boro

Nas tabelas 24, 25, 26, 27, 28 e 29 são apresentados, respectivamente os teores de boro nas folhas e nos grãos do feijoeiro, como também as quantidades de boro exportadas nos grãos pela cultura.

Nas tabelas 24 e 25 encontram-se os teores de boro nas folhas do feijoeiro, onde nota-se, que no solo LVA e CL os teores não diferem estatisticamente, ocorrendo pequenas diferenças significativas no solo LA e CV. Os tratamentos com omissão de fósforo e enxofre no LA, e o tratamento testemunha no CV apresentaram os maiores teores de boro nas folhas, não diferindo estatisticamente do completo, enquanto que os tratamentos com omissão de boro, ferro e manganês, para o solo LA e o de omissão de zinco no CV apresentaram os menores teores e, diferem significativamente dos tratamentos que apresentaram maiores teores.

Percebe-se nas tabelas 26 e 27, que os teores de boro nos grãos não apresentaram diferenças significativas, e que os teores nulos nos tratamentos testemunha e menos fósforo no CV, é pelo fato de não ter ocorrido produção de grãos nestes tratamentos. As tabelas 28 e 29 mostram que a maior exportação de boro pelos grãos ocorreu: no LVA pelos tratamentos completo, menos boro, menos manganês e menos zinco; no LA pelos tratamentos menos boro, menos manganês e menos zinco; no CV pelos tratamentos completo, menos boro, menos ferro; no CL pelos tratamentos completo, menos boro, menos cobre e menos ferro, exatamente onde foram registradas as maiores produções de grãos.

Os teores de boro apresentados neste estudo, estão de acordo com MALAVOLTA (1989) e EL-HUSNY (1992).

4.3.6. Teor e Conteúdo de Cobre

Nas tabelas 24, 25, 26, 27, 28 e 29 encontram-se os teores de cobre nas folhas e nos grãos do feijoeiro, como também as quantidades exportadas pelos grãos. Os tratamentos com omissão de fósforo e enxofre no LVA, omissão de enxofre no LA e CL e omissão de fósforo no CV, aumentaram os teores e as quantidades de cobre nas folhas e nos grãos do feijoeiro. Estes resultados encontram apoio nos trabalhos de MALAVOLTA (1980), e discorda dos resultados apresentados por EL-HUSNY (1992), onde a omissão de fósforo e enxofre segundo o autor condicionaram decréscimos no acúmulo de cobre nas folhas e nos grãos do feijoeiro.

Os teores de cobre encontrados nas folhas, assemelham-se aos teores encontrados por EL-HUSNY (1992).

4.3.7. Teor e Conteúdo de Ferro

Pelas tabelas 24 e 25, verifica-se que os teores de ferro nas folhas do feijoeiro no solo LVA e no CV não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Todavia, nos solos LA e CL os teores apresentam algumas diferenças estatísticas. Os tratamentos com omissão de enxofre e zinco no LA e o tratamento com omissão de fósforo no CL apresentaram os maiores teores de ferro nas folhas do feijoeiro. Estes resultados, concordam com os obtidos por MALAVOLTA (1980).

No LVA tabela 26, os teores de ferro nos grãos não apresentam diferenças significativas. Para a quantidade de ferro acumulada nos grãos, tabela 28, o maior destaque correspondeu a testemunha que proporcionou uma redução, porém a omissão de zinco registrou o maior acúmulo de ferro. No LA tabela 26, a testemunha apresentou o menor teor de ferro, e também apresentou na tabela 28, a menor quantidade acumulada nos grãos. No CV e CL tabelas 27 e 29, tanto os teores quanto as quantidades de ferro nos grãos não apresentaram diferenças significativas.

A omissão de zinco aumentando a quantidade de ferro acumulada nos grãos, também foi encontrada por EL-HUSNY (1992).

os teores de ferro observados neste ensaio, encontram-se dentro da faixa considerada adequada por MALAVOLTA *et al.* (1989). Segundo o autor por ser um elemento parcialmente móvel na planta, as maiores quantidades encontram-se nas folhas, como pode ser observado neste trabalho.

4.3.8. Teor e Conteúdo de Manganês

Visualizando as tabelas 24 e 26, percebe-se que, a omissão de enxofre no solo LA aumentou o teor de manganês nas folhas e nos grãos do feijoeiro, enquanto que o tratamento testemunha e a omissão de fósforo reduziram estes teores. Na tabela 25 no CV, o tratamento testemunha aumenta o teor de manganês nas folhas, enquanto que o tratamento com omissão de cobre reduz este teor, no CL ocorre o contrário, a omissão de cobre aumenta o valor e o tratamento testemunha reduz.

Provavelmente o maior teor de manganês nas folhas e nos grãos com a omissão do enxofre, tenha acontecido, em razão do efeito de concentração, pois este tratamento proporcionou um pequeno desenvolvimento da planta, cuminando com uma baixa produção. Pode-se observar nas tabelas 28 e 29 que o mesmo não ocorreu para as quantidades de manganês nos grãos.

Na tabela 28 a omissão de zinco no LVA e a omissão do boro no LA aumentam a quantidade de manganês exportadas pelos grãos, o que está de acordo com o que é citado pela literatura.

Os teores de manganês encontrados neste ensaio, situam-se na faixa adequada sugerida por MALAVOLTA *et al.* (1989). Quanto a distribuição do manganês na planta, as folhas apresentam maiores quantidades que nos grãos, como citado por MALAVOLTA (1980).

4.3.9. Teor e Conteúdo de Zinco

Nas tabelas 24 e 25, pode-se observar para o solo LVA, LA e CV que a omissão de fósforo aumentou o teor de zinco nas folhas do feijoeiro.

Para os teores de zinco nos grãos (tabelas 26 e 27) e para a quantidade de zinco exportada pelos mesmos (tabelas 28 e 29), as médias não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, exceto para o solo LVA na tabela 28, onde chama atenção os tratamentos testemunha e menos enxofre, pela menor quantidade de zinco acumulada.

A explicação para a omissão de fósforo favorecer à absorção de zinco segundo MANDAL & HALDAR (1980) é que a aplicação de fósforo causa efeito depressivo no conteúdo de zinco disponível no solo, sendo este efeito mais proeminente no zinco nativo do solo do que o aplicado. Todavia OLSEN (1972) procurando explicação para o fato, verificou que o fósforo precipitando o zinco no solo não é uma explicação satisfatória. Um efeito do fósforo atuando no sítio de absorção ou limitando a translocação ou mesmo a utilização do zinco pelas plantas parece uma hipótese mais satisfatória. Quanto a relação entre enxofre e zinco observada neste estudo, os efeitos foram semelhantes aos observados por EI-HUSNY (1992). Os teores de zinco nas folhas e nos grãos, constatado neste ensaio, encontram-se na faixa adequada relatada por MALAVOLTA (1989).

Tabela 24. Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg) nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Latossolo Vermelho Amarelo					
Completo	53 a	7,69 b	287 a	71 a	38,29 ab
Testemunha	66 a	6,67 b	193 a	67 a	33,36 b
- P	58 a	11,99 a	238 a	68 a	68,25 a
- S	59 a	8,70 ab	273 a	108 a	35,35 b
- B	41 a	7,44 b	255 a	78 a	35,74 b
- Cu	49 a	6,42 b	264 a	76 a	47,88 ab
- Fe	47 a	7,44 b	212 a	88 a	37,75 ab
- Mn	55 a	5,91 b	210 a	67 a	38,88 ab
- Zn	54 a	7,94 b	249 a	81 a	29,88 b
C.V. (%)	17,13	17,21	13,58	19,30	26,66
Latossolo Amarelo					
Completo	53 ab	5,40 c	229 bc	121 bc	46,18 b
Testemunha	46 b	0,00 d	165 c	87 c	34,95 b
- P	75 a	7,94 ab	243 abc	85 c	72,34 a
- S	72 a	9,72 a	336 a	180 a	45,74 b
- B	42 b	7,08 bc	266 abc	148 ab	39,33 b
- Cu	65 ab	6,70 bc	249 abc	139 ab	41,51 b
- Fe	46 b	8,35 ab	260 abc	153 ab	38,32 b
- Mn	41 b	8,60 ab	261 abc	136 ab	39,59 b
- Zn	50 ab	8,55 ab	304 ab	165 ab	40,76 b
C.V. (%)	16,58	12,05	13,86	11,74	18,13

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 25. Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg), nas folhas do feijoeiro (na floração), em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	63 ab	0,00 c	229 a	46 b	29,80 de
Testemunha	73 a	8,21 ab	262 a	73 a	56,15 ab
- P	58 ab	12,12 a	274 a	53 ab	67,16 a
- S	42 ab	8,21 ab	275 a	46 b	54,14 abc
- B	56 ab	0,00 c	205 a	49 b	34,39 de
- Cu	41 ab	6,41 b	238 a	44 b	31,40 de
- Fe	45 ab	0,00 c	211 a	60 ab	43,51 bcd
- Mn	43 ab	5,57 bc	228 a	39 b	35,43 cde
- Zn	35 b	6,32 b	215 a	48 b	23,16 e
C.V. (%)	23,83	37,27	18,66	115,55	14,12
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	52 a	8,64 a	354 ab	158 ab	51,19 a
Testemunha	30 a	7,85 a	372 ab	98 b	34,88 a
- P	35 a	9,67 a	409 a	134 ab	58,29 a
- S	37 a	10,97 a	315 ab	188 ab	45,39 a
- B	44 a	9,68 a	313 b	156 ab	41,14 a
- Cu	51 a	8,37 a	386 ab	202 a	58,19 a
- Fe	36 a	9,42 a	298 b	158 ab	70,47 a
- Mn	53 a	9,68 a	306 b	148 ab	40,91 a
- Zn	57 a	9,41 a	298 b	163 ab	42,25 a
C.V. (%)	23,19	14,50	9,63	21,44	26,01

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26 . Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg) nos grãos do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>					
Completo	22 abc	0,00 c	141 a	31 a	43,29 a
Testemunha	25 a	4,95 b	54 a	18 a	32,48 a
- P	20 abc	6,01 ab	71 a	20 a	37,66 a
- S	24 ab	6,97 a	161 a	36 a	37,08 a
- B	19 bc	0,00 c	100 a	27 a	31,35 a
- Cu	20 abc	0,00 c	106 a	25 a	45,72 a
- Fe	21 abc	0,00 c	88 a	32 a	44,00 a
- Mn	19 bc	0,00 c	105 a	26 a	35,60 a
- Zn	17 c	0,00 c	98 a	28 a	30,62 a
C.V. (%)	9,10	20,45	37,16	31,62	17,55
<u>Latossolo Amarelo</u>					
Completo	23 a	0,00 b	91 ab	36 a	38,91 ab
Testemunha	8 a	2,32 ab	23 b	8 b	13,50 ab
- P	22 a	5,92 a	64 ab	21 ab	35,76 ab
- S	26 a	0,00 b	88 ab	39 a	36,82 ab
- B	20 a	0,00 b	92 ab	36 a	35,65 ab
- Cu	20 a	0,00 b	112 a	36 a	35,50 ab
- Fe	23 a	0,00 b	85 ab	35 a	41,93 a
- Mn	22 a	0,00 b	108 a	37 a	39,93 ab
- Zn	18 a	0,00 b	78 ab	30 a	30,96 ab
C.V. (%)	30,40	146,12	35,05	20,61	28,50

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 27. Teores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/kg) nos grãos do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	25 a	0,00 b	82 ab	17 a	42,09 a
Testemunha	0 b	0,00 b	0 c	0 b	0,00 b
- P	0 b	0,00 b	0 c	0 b	0,00 b
- S	29 a	5,43 a	80 ab	19 a	47,54 a
- B	22 a	0,00 b	63 b	17 a	36,99 a
- Cu	27 a	0,00 b	76 ab	17 a	42,95 a
- Fe	22 a	0,00 b	81 ab	21 a	41,63 a
- Mn	25 a	5,30 a	91 ab	18 a	48,73 a
- Zn	23 a	0,00 b	94 a	17 a	35,82 a
C.V. (%)	12,99	15,58	15,53	19,35	21,10
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	25 a	0,00 b	91 a	37 a	40,42 a
Testemunha	23 a	0,00 b	55 a	26 a	36,95 a
- P	23 a	0,00 b	72 a	22 a	41,34 a
- S	26 a	5,67 a	110 a	45 a	46,28 a
- B	22 a	0,00 b	80 a	36 a	41,89 a
- Cu	26 a	0,00 b	119 a	40 a	46,84 a
- Fe	23 a	0,00 b	77 a	42 a	50,47 a
- Mn	15 a	0,00 b	57 a	27 a	31,64 a
- Zn	22 a	0,00 b	88 a	35 a	37,48 a
C.V. (%)	23,16	0,00	28,27	31,23	25,63

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28. Quantidade de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (µg/vaso) exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>					
Completo	113 ab	0,00 c	716 ab	158 abc	219,72 ab
Testemunha	38 c	7,86 b	92 d	30 c	55,57 d
- P	61 bc	18,33 a	219 cd	60 bc	116,41 bcd
- S	56 bc	15,54 a	359 abcd	83 bc	85,20 cd
- B	128 a	0,00 c	637 abc	174 ab	209,41 ab
- Cu	86 abc	0,00 c	455 abcd	104 abc	193,68 abc
- Fe	72 abc	0,00 c	317 bcd	117 abc	151,97 abcd
- Mn	109 ab	0,00 c	589 abc	145 abc	201,17 abc
- Zn	134 a	0,00 c	767 a	222 a	238,73 a
C.V. (%)	24,42	50,75	33,14	37,20	24,77
<u>Latossolo Amarelo</u>					
Completo	59 a	0,00 b	228 ab	99 ab	102,48 a
Testemunha	15 a	4,23 b	43 b	14 b	24,56 a
- P	57 a	15,37 a	162 ab	54 ab	93,00 a
- S	56 a	0,00 b	190 ab	85 ab	78,55 a
- B	119 a	0,00 b	564 a	217 a	216,45 a
- Cu	94 a	0,00 b	356 ab	173 ab	173,09 a
- Fe	56 a	0,00 b	238 ab	95 ab	105,65 a
- Mn	106 a	0,00 b	493 ab	179 ab	189,84 a
- Zn	109 a	0,00 b	456 ab	173 ab	182,43 a
C.V. (%)	54,81	135,54	59,04	56,70	56,71

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 29. Quantidades de boro, cobre, ferro, manganês e zinco ($\mu\text{g}/\text{vaso}$) exportadas nos grãos pela cultura do feijoeiro, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<u>Cambissolo Vértico</u>					
Completo	127 a	0,00 c	402 ab	82 ab	205,55 a
Testemunha	0 b	0,00 c	0 b	0 b	0,00 b
- P	0 b	0,00 c	0 b	0 b	0,00 b
- S	55 ab	10,87 b	154 ab	38 ab	87,97 ab
- B	121 a	0,00 c	345 ab	91 a	198,82 a
- Cu	88 ab	0,00 c	244 ab	58 ab	138,50 ab
- Fe	118 a	0,00 c	476 a	114 a	227,71 a
- Mn	81 ab	17,00 a	292 ab	57 ab	155,91 ab
- Zn	51 ab	0,00 c	208 ab	38 ab	79,41 ab
C.V. (%)	56,07	67,79	61,53	54,25	53,04
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	127 a	0,00 b	464 a	184 a	202,94 a
Testemunha	54 a	0,00 b	131 a	62 a	88,38 a
- P	58 a	0,00 b	181 a	56 a	107,54 a
- S	73 a	16,67 a	300 a	116 a	129,32 a
- B	101 a	0,00 b	375 a	166 a	192,05 a
- Cu	132 a	0,00 b	599 a	201 a	254,23 a
- Fe	106 a	0,00 b	352 a	194 a	241,77 a
- Mn	69 a	0,00 b	247 a	121 a	143,69 a
- Zn	92 a	0,00 b	383 a	140 a	143,76 a
C.V. (%)	57,85	208,07	59,20	54,29	61,10

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

4.3.10. Valores de Macro e Micronutrientes Recuperados Antes e Após o Cultivo dos Solos em Função dos Tratamentos Aplicados

Pela tabela 30, visualiza-se os valores médios de fósforo disponíveis e potássio, cálcio e magnésio trocáveis, recuperados após o período de incubação e antes do plantio, com as médias não diferindo significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Foram feitas correlações entre os valores de fósforo extraídos com os extratores resina e Olsem verso produção de matéria seca de grãos, e para ambos os solos, as correlações não foram significativas.

Na tabela 31, encontram-se os valores médios de fósforo disponíveis, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, zinco e potássio, cálcio e magnésio trocáveis antes do cultivo. Foram analisadas apenas uma amostra de cada solo com três repetições. As análises de fósforo, potássio, cálcio e magnésio do CV, não foram realizadas em todos os tratamentos como no LVA, LA e CV (tabela 30), porque não foi incubado com nenhum tratamento, como descrito no material e métodos.

Os valores encontrados nas tabelas 30 e 31, de uma certa forma, foram discutidos no item 4.3.1 Análises Químicas do capítulo 4.1 características Físicas, Mineralógicas e Químicas dos Solos. Como também, citado durante a discussão dos dados.

Verifica-se nas tabelas 32 e 33 os valores médios de fósforo e enxofre disponíveis, potássio, cálcio e magnésio trocáveis após o cultivo dos solos. Observa-se, que os valores de fósforo para ambos os solos, nos tratamentos testemunha e com omissão de fósforo, diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, dos demais tratamentos. Esta diferença é em função de que estes dois tratamentos foram os únicos que não receberam fósforo na adubação de plantio. Também, foram feitas correlações entre os valores de fósforo disponíveis após o cultivo extraídos com os extratores resina e Olsem verso Produção de matéria seca de grãos. No LVA a correlação com fósforo resina foi significativa a 5% com $r=0,3913$, com fósforo Olsem também significativa a 5% com $r=0,4116$. No CV a correlação com fósforo resina foi significativa a 5% com $r=0,4395$, com o fósforo

Olsem significativa a 1% com $r=0,5116$. Nos solos LA e CL as correlações com a produção de grãos não foram significativas.

Os valores de enxofre recuperados após o cultivo no LVA e LA não diferem significativamente entre os tratamentos, tendo-se observado diferenças entre os mesmos no CV e CL. É importante chamar atenção que o coeficiente de variação para a análise de enxofre foi muito alto.

Os valores de potássio, cálcio e magnésio de uma forma geral não apresentaram diferenças significativas importantes.

Observa-se pelas tabelas 34 e 35 que para todos os micronutrientes, somente no zinco os tratamentos testemunha e com omissão de zinco, diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, dos demais tratamentos.

Tabela 30. Valores médios de fósforo disponíveis (mg/dm^3), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm^3), recuperados antes do cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no LVA, LA e CL.

Tratamentos	P Resina	P Olsem	K	Ca	Mg
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>					
Completo	59 a	33 a	24,80 a	260,00 ab	26,44 a
Testemunha	60 a	32 a	14,85 b	218,33 b	26,17 a
- P	60 a	31 a	23,94 a	223,33 b	26,44 a
- S	59 a	32 a	25,29 a	275,67 a	24,22 a
- B	56 a	34 a	23,33 a	249,67 ab	25,61 a
- Cu	56 a	34 a	24,31 a	254,67 ab	25,61 a
- Fe	54 a	32 a	23,94 a	239,33 ab	25,89 a
- Mn	56 a	32 a	24,43 a	274,00 a	26,44 a
- Zn	56 a	32 a	23,69 a	262,67 ab	24,77 a
C.V. (%)	7,16	5,42	5,67	6,88	3,07
<u>Latossolo Amarelo</u>					
Completo	26 a	23 a	16,23 a	86,00 c	18,93 a
Testemunha	29 a	23 a	14,06 a	93,00 abc	14,81 b
- P	25 a	24 a	11,87 a	91,00 bc	19,26 a
- S	25 a	25 a	16,24 a	95,00 abc	19,43 a
- B	27 a	24 a	13,09 a	107,33 a	19,54 a
- Cu	25 a	24 a	11,39 a	105,33 ab	19,37 a
- Fe	24 a	24 a	11,63 a	101,50 ab	19,43 a
- Mn	25 a	25 a	13,33 a	102,67 ab	19,20 a
- Zn	27 a	25 a	13,81 a	103,00 ab	19,71 a
C.V. (%)	9,09	6,02	15,22	5,08	4,85
<u>Cambissolo Latossólico</u>					
Completo	65 b	62 a	3,88 a	164,33 a	32,40 a
Testemunha	72 a	66 a	2,33 b	172,33 a	22,71 b
- P	66 b	63 a	3,71 a	178,67 a	29,84 ab
- S	67 b	65 a	4,02 a	181,00 a	30,39 ab
- B	69 ab	64 a	3,85 a	170,00 a	33,40 a
- Cu	66 b	67 a	3,73 a	127,00 a	30,73 ab
- Fe	65 b	65 a	3,68 a	147,00 a	32,17 a
- Mn	67 b	67 a	3,68 a	190,00 a	32,18 a
- Zn	66 b	61 a	3,78 a	194,33 a	27,28 ab
C.V. (%)	2,40	3,49	3,86	15,97	10,18

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 31 . Valores médios de fósforo disponíveis, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm³) e potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/dm³) antes do cultivo do LVA, LA, CV e CL.

Solo	Resina Olsen										
	P	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
LVA	-	-	-	-	-	8,91	0,89	1,15	6,44	41,67	1,05
LA	-	-	-	-	-	14,11	0,84	0,88	4,87	51,93	1,01
CV	5	8	1,16	486,66	17,48	5,46	0,73	1,09	6,58	15,87	0,57
CL	-	-	-	-	-	8,77	0,65	1,39	14,37	106,26	1,73

Tabela 32. Valores médios de fósforo e enxofre disponíveis (mg/dm³), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/cdm³), recuperados após o cultivo dos solos em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	P		S	K	Ca	Mg
	Resina	Olsem				
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>						
Completo	143 ab	134 a	5,71 a	16,72 a	74,33 bc	22,71 a
Testemunha	39 c	22 b	3,13 a	11,14 b	76,00 b	23,16 a
- P	35 c	21 b	8,45 a	15,75 a	71,33 bc	17,70 b
- S	146 a	137 a	4,85 a	16,24 a	62,33 c	21,60 ab
- B	125 ab	122 a	4,76 a	15,03 a	79,00 b	22,60 a
- Cu	131 ab	116 a	4,73 a	16,48 a	97,67 a	22,16 a
- Fe	135 ab	121 a	4,90 a	14,06 a	95,00 a	23,60 a
- Mn	126 ab	117 a	3,73 a	15,03 a	94,33 a	22,38 a
- Zn	122 b	112 a	6,77 a	15,03 a	76,33 b	23,27 a
C.V. (%)	7,43	9,01	46,42	6,31	5,76	6,47
<u>Latossolo Amarelo</u>						
Completo	124 a	126 a	6,70 a	9,02 a	70,93 b	15,81 ab
Testemunha	37 b	17 b	3,42 a	6,41 a	91,67 a	14,14 b
- P	31 b	14 b	6,05 a	8,31 a	76,87 ab	16,14 ab
- S	128 a	138 a	3,57 a	8,07 a	69,07 b	15,59 ab
- B	115 a	117 a	4,01 a	6,17 a	71,73 b	16,03 ab
- Cu	121 a	122 a	6,84 a	7,36 a	69,80 b	15,14 ab
- Fe	128 a	130 a	8,69 a	7,36 a	69,93 b	16,48 a
- Mn	116 a	121 a	2,96 a	7,12 a	72,07 b	16,37 ab
- Zn	118 a	118 a	5,73 a	6,65 a	74,33 b	16,26 ab
C.V. (%)	8,28	10,32	47,01	18,51	7,91	5,00

— nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 33. Valores médios de fósforo e enxofre disponíveis (mg/dm³), potássio, cálcio e magnésio trocáveis (mmol/cdm³), recuperados após o cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	P		S	K	Ca	Mg
	Resina	Olsem				
Cambissolo Vértico						
Completo	90 a	80 a	6,05 ab	1,16 a	448,67 a	13,25 b
Testemunha	15 b	3 b	6,88 a	2,33 a	402,67 a	22,71 a
- P	15 b	2 b	7,94 ab	1,92 a	416,67 a	18,93 ab
- S	101 a	78 a	6,49 ab	1,57 a	460,67 a	18,04 ab
- B	82 a	89 a	7,55 ab	1,81 a	509,33 a	16,48 ab
- Cu	83 a	81 a	3,26 b	1,19 a	489,33 a	17,15 ab
- Fe	78 a	73 a	4,79 b	1,64 a	475,33 a	17,15 ab
- Mn	86 a	85 a	9,28 ab	1,97 a	564,67 a	17,26 ab
- Zn	96 a	70 a	5,24 b	1,64 a	447,33 a	16,92 ab
C.V. (%)	11,68	20,66	84,61	44,20	12,57	13,30
Cambissolo Latossólico						
Completo	129 a	136 a	5,94 c	2,94 a	122,53 a	26,39 a
Testemunha	46 b	48 b	7,44 a	1,59 b	142,40 a	20,71 b
- P	49 b	46 b	8,30 bc	2,40 ab	138,13 a	26,50 a
- S	143 a	151 a	6,09 c	2,66 ab	118,80 a	28,06 a
- B	139 a	152 a	12,27 bc	2,40 ab	121,47 a	27,95 a
- Cu	129 a	144 a	5,03 c	1,99 ab	141,33 a	25,16 ab
- Fe	145 a	154 a	15,56 b	2,54 ab	130,93 a	27,39 a
- Mn	136 a	144 a	10,75 bc	2,35 ab	130,40 a	27,16 a
- Zn	128 a	136 a	5,54 c	1,95 ab	122,53 a	27,16 a
C.V. (%)	6,59	6,10	22,73	16,74	7,69	6,84

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 34. Valores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm³), recuperados após o cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no CV e CL.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn					
<u>Cambissolo Vértico</u>										
Completo	0,87	ab	1,56	b	7,83	ab	15,87	ab	1,50	b
Testemunha	0,82	ab	1,08	d	6,91	d	12,40	c	0,59	c
- P	0,84	ab	1,56	b	7,55	bc	12,13	c	1,61	b
- S	0,95	a	1,57	b	7,71	abc	13,80	abc	1,44	b
- B	0,64	b	1,60	b	8,05	a	17,00	a	1,51	b
- Cu	0,83	ab	1,33	c	7,62	abc	14,87	abc	1,59	b
- Fe	0,76	ab	2,15	a	7,34	dc	15,27	abc	2,21	a
- Mn	0,84	ab	1,55	b	7,75	abc	13,07	bc	1,52	b
- Zn	0,94	a	1,55	b	7,59	bc	13,53	bc	0,51	c
C.V. (%)	11,82	2,53	1,97	8,28	5,33					
<u>Cambissolo Latossólico</u>										
Completo	0,83	a	2,55	abc	23,13	cd	160,53	a	2,60	ab
Testemunha	0,65	a	2,31	bc	19,40	e	78,00	b	1,55	c
- P	0,78	a	2,51	abc	20,40	de	92,40	b	2,30	b
- S	0,76	a	2,53	abc	24,40	bc	65,67	b	2,30	b
- B	0,74	a	2,59	ab	26,60	ab	160,00	a	2,61	ab
- Cu	0,75	a	2,06	c	27,60	a	153,07	a	2,36	ab
- Fe	0,81	a	2,95	a	26,33	ab	167,20	a	2,77	a
- Mn	0,79	a	2,66	ab	24,93	abc	142,93	a	2,51	ab
- Zn	0,76	a	2,63	ab	25,40	abc	73,47	b	1,50	c
C.V. (%)	12,57	6,68	4,19	8,27	6,84					

– nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 35. Valores médios de boro, cobre, ferro, manganês e zinco (mg/dm^3) recuperados após o cultivo dos solos, em função dos tratamentos aplicados no LVA e LA.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn					
<u>Latossolo Vermelho Amarelo</u>										
Completo	1,19	a	2,13	ab	14,02	bc	71,53	ab	2,07	ab
Testemunha	0,80	c	1,31	e	8,20	d	36,40	c	0,93	d
- P	1,09	ab	1,76	d	9,85	d	41,53	c	1,56	c
- S	1,10	ab	1,99	c	12,68	c	56,93	bc	1,82	bc
- B	0,92	bc	2,10	abc	15,27	bc	76,33	ab	1,93	bc
- Cu	1,22	a	1,76	d	18,07	a	92,13	a	2,05	ab
- Fe	1,11	ab	2,22	a	13,13	bc	74,20	ab	2,47	a
- Mn	1,19	a	2,16	a	15,57	a	71,20	ab	1,87	bc
- Zn	1,11	ab	2,01	bc	13,58	bc	85,47	a	0,97	d
C.V. (%)	8,08	2,42	7,11	10,79	9,29					
<u>Latossolo Amarelo</u>										
Completo	1,00	ab	4,73	a	14,68	abc	114,63	ab	2,85	a
Testemunha	0,77	b	1,98	b	8,62	d	66,47	c	1,15	d
- P	0,99	ab	2,13	b	11,68	dc	83,80	bc	1,89	c
- S	0,99	ab	2,25	b	15,00	abc	113,00	ab	2,03	bc
- B	0,83	ab	2,51	b	16,51	a	136,40	a	2,27	abc
- Cu	1,05	a	1,71	b	11,95	bcd	119,60	ab	2,10	bc
- Fe	0,95	ab	2,43	b	9,11	d	95,80	abc	2,67	ab
- Mn	0,97	ab	2,49	b	14,97	abc	114,67	ab	2,16	bc
- Zn	0,96	ab	2,57	b	15,57	ab	130,27	a	1,21	d
C.V. (%)	9,92	21,38	9,89	11,11	13,46					

- nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, para cada solo, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitiram as seguintes conclusões:

- As relações $K/(Ca+Mg)$ nos solos LVA, LA, CV e CL, não influenciaram na produção de grãos, matéria seca de: folhas, raízes, caule + ramos, vagem e matéria seca total, na cultura do feijoeiro.
- A produção do feijoeiro, tanto em grãos como em matéria seca de suas partes, não foi influenciada pela mudança da relação Ca/Mg do solo, em ambos os solos.
- Os valores encontrados de potencial de potássio e energia livre de troca no solo (ΔG), não se ajustaram aos limites de equilíbrio adequado entre cálcio e potássio, deficiência de K e absorção excessiva de potássio ou deficiência de cálcio sugerido pela literatura.
- Na possibilidade de ocorrer deficiência de potássio nos solos estudados, pode-se deduzir que o limite inferior de potencial de potássio para que ocorra deficiência, possivelmente seja superior a 2,6, e para $\Delta \overline{G}$ um limite superior menor que -4000 cal/equivalente.
- As equações de regressões entre os valores de $K/(Ca+Mg)$ no solo e os dados de potencial de K e $\Delta \overline{G}$, apresentaram antes do cultivo modelos altamente significativos, alcançando coeficientes de determinação (R^2) alto. Todavia, após o cultivo obtiveram-se correlações não significativas.
- Todos os solos estudados apresentaram-se deficientes em fósforo e enxofre.

- A omissão no LVA de B, Mn e Zn promoveram acréscimos na produção relativa, enquanto a omissão de Cu e Fe decresceram.
- No LA a omissão de B, Cu, Fe, Mn e Zn provocaram aumentos na produção relativa.
- Os aumentos de produção relativa no CV foram devidos a omissão de B e Fe, enquanto que decréscimos ocorreram em razão da ausência de Cu, Mn e Zn.
- A produção relativa no CL aumentou apenas com a omissão de Cu e decresceu com a omissão de B, Fe, Mn e Zn.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBAREDA, J.M.; HERNANDO, V.; SANCHES CONDE, M. del P. Interaction Ca/K en la absorcion de estos elementos por la planta de trigo. I. Influência del pH en el desarrollo de la planta de trigo. **Anales de Edafologia y Fisiologia Vegetal**, v.17, p.223-2253, 1958.
- ALVAREZ, V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiência e excesso. In: BORKERT, C.M. ; LANTMANN, H. Enxofre e micronutriente na agricultura brasileira. Londrina: EMBRAPA-CNPS; IAPAR; SBC, 1988. p.31-59.
- AMBLER, J.E.; BROWN, J.C. Cause of differential susceptibility to zinc deficiency in two varieties of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomy Journal**.v.61, p.41-43, 1969.
- BARROWS, H.L.; OZANE, P.G.; SHAW, F.C. Nutrient potential and capacity: I. The concepts of nutrient potential and their application to soil potassium and phosphorus. **Australian Journal of Agricultural Researcher**, v.16, p.61-76, 1967.
- BATAGLIA, O.C. ; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.105-121, 1989.

BOISCHOT, P.; COPPENET, M.; HEBERT, J. Fixation de l'acide phosphorique sur la calcic des sols. **Plant and Soil**, v.2, p.311-322, 1950.

BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; SUMNER, M.E. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.691-696, 1993.

BOYER, J. Propriedades dos solos e fertilidade. Salvador; Universidade Federal da Bahia, 1971, 196p.

BOYOUCOS, G.J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v.23, p.343-353, 1927.

BRADAWY, R.; BUSSLER, W. Supply and absorption of cation in long term experiment with oats. **Potash Review**, v. 9/15, p.9, 1968.

BRAGA, J.M. Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais. Piracicaba, 1972. 143p. (Tese - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BRASIL SOBRINHO, M. de O. C. Levantamento do teor de zinco em alguns solos do município de Piracicaba. Piracicaba, 1966. 96p. Tese Cátedra - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor do boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1965. 135p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Science**, v.59, p.39-45, 1945.

BRICENO, J.A.; CARVAJAL, J.F. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. **Turrialba**, v. 23, p.56-71, 1973.

BROWN, J.C.; AMBLER, J.E.; CHANEY, R.L.; FOY, C.D. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in agriculture. Madison: SSSA, 1972. p.389-419.

BUEHRER, T.F. The physico-chemical relationships of soil phosphates. **Technical Bulletin. Arizona Agricultural Experiment Station**, n.42, p.155-212, 1932.

BULL, L.T. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramíneas e leguminosas forrageiras. Piracicaba, 1986. 107p. (Tese) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CARMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.83-88, 1982.

CARVALHO, B.C.L. de; MENDES, J.E.S.; GOMES, J.C.; SANTOS, D.P.; NUNES, J.A.C.; FRANCO, C.B.; LEITE, J.M. Adubação mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Estado da Bahia. Efeitos de N, P, K e S e de uma mistura de micronutrientes (B, Zn, Cu e Mo) nas regiões de Irecê e Tucano. In: SECRETARIA DA AGRICULTURA DA BAHIA. **Projeto feijão**, Salvador, 1977. p.114-119.

- CASAGRANDE, J.C. O boro em solos do município de Piracicaba. Piracicaba, 1978. 122p. (Dissertação) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Solubility product of ion phosphate. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 21, p.265-269, 1957.
- CHAPMAN, N.D.; VANSELOW, H.P. Boron deficiency and excess. Davis: University of California, Dept. of Soils and Plant Nutrition, 1955. 4p.
- CHARUDHRY, F.M.; LONERAGAN, J.F. Zinc absorption by wheat seedling and the nature of its inhibition by alkaline earth cations. **Journal Experimental Botany**, v.23, p.552-560, 1972.
- CHAUDHRY, F.M.; WALLACE, A. Zinc uptake by rice as affected by iron and a chelator of ferrous iron. **Plant and Soil**, v. 45, p.697-700, 1976.
- COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var, Roxinho). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.28, p.257-274, 1971.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o estado da Bahia. 2.ed. Salvador: CEPLAC; EMATER-BA; EPABA; NITROFERTIL, 1989. 173p.
- COOK, R.L.; MILLAR, C.E. Some soil factors affecting boron availability. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 4, n.3, p.297-301, 1939.

- CORDEIRO, D.A. Emprego de técnicas de marcação no estudo da interrelação calagem - adubação potássica em solos cultivados com cana-de-açúcar. Piracicaba, 1978. 102p. (Tese) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do boro disponível em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p.1457-1464, 1984.
- CUNHA, T.J. F. Matéria orgânica de alguns solos de Irecê-BA: Sua dinâmica e algumas relações pedogenéticas. Salvador, 1992. 221p. (Dissertação) - Universidade Federal da Bahia.
- DANTAS, H.S. Manganês e cátions permutáveis na unidade de Utinga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, v.6, p.30, 1971.
- DUETE, W.L.C. Avaliação da fertilidade de quatro solos do recôncavo baiano para cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa, 1988. 94p. (Dissertação) - Universidade Federal de Viçosa.
- EL-HUSNY, J.C. Limitações nutricionais para cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em um solo do norte de Minas Gerais. Lavras, 1992. 151p. (Dissertação) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- ELGALA, A.M.; ISMAIL, H.S.; OSSMAN, M.A. Critical levels of iron, manganese and zinc in Egyptian soils. **Journal of Plant Nutrition**, v. 9, n. 3/7, p.267-280, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Programa Nacional de Pesquisa do Feijão. Brasília, 1981. 117p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Terceira aproximação. Rio de Janeiro: SNLCS, 1988. 122p.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA BAHIA. Avaliação dos recursos naturais da região do PDRJ-Irecê. Salvador: EMATER-BA; CAR, 1985. 172p.

ERNESTO SOBRINHO, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, RN. Viçosa, 1980. 133p. (Dissertação) - Universidade Federal de Viçosa.

EVANS, E. Studies in the mineral nutrition of sugarcane in British Guiana. II. The mineral status of sugarcane as revealed by foliar analysis. **Tropical Agriculture**, v. 32, p. 295-322, 1955.

EVANS, L.T.; RUSSELL, E.W. The absorption of humic and fulvic acids by clays. **Journal of Soil Science**, v.10, p.119-132, 1959.

FAHAD, A.A. Movement of manganese-54 in calcareous soils as affected by leaching solution, lime content, salinization, and sterilization. **Soil Science Society of American Journal**, v. 51, p.1487-1492, 1987.

FANNING, C. Fertilization. In: DRY bean production handbook. Fargo: North Dakota Cooperative Extension Service, 1985. p.11-13. (Publication A-602).

FASSBENDER, H.W. La fertilización del frijol (*Phaseolus* spp). **Turrialba**, v.17, p.46-52, 1967.

FASSBENDER, H.W. & LAROCHE, L.A. The nutritive potentials of soil and proportions of K:Ca:Mg in tomato plants. **Plant and Soil**, v.28, n.3, p.431-441, 1968.

FASSBENDER, H.W. Equilíbrios cationicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. **Turrialba**, v.22, n.4, p.388-397, 1972.

FERRARI NETO, J. Limitações nutricionais para o colônio (*Panicum maximum* Jacq) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapt.) em Latossolo da região noroeste do Estado do Paraná. Lavras. 1991. 126p. (Dissertação) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

FORNO, D.A.; YOSHIDA, S.; ASHER, C.J. Zinc deficiency in rice. I. Soil factors associated with the deficiency. **Plant and Soil**, v. 42, p.537-550, 1975.

FORTUNATO, F.F. Relação rocha matriz/material de origem numa sequência de solos desenvolvidos de arenito, argilito e calcário em região de clima semi-árido - Iraquara-BA. Salvador, 1982. 139p. (Dissertação) - Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia.

FUZZATO, M.G.; FERRAZ, C.A.M. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e análise química do solo. **Bragantia**, v. 26, p.345-352, 1967.

GARDNER, R.; KELLEY, O.J. Relations of pH to phosphate solubility in calcareous soils. **Soil Science**, v.50, p.91-102, 1940.

- GETHING, P.A. Potasio del suelo - Estudio de recientes investigaciones. **Revista de la Potasa**, v.16, n.22, p.1-11, 1962.
- GUAZZELLI, J.R. A pesquisa de feijão no Brasil, situação atual e perspectivas. In: CURSO DE PRODUÇÃO DE FEIJÃO, 2., Goiânia, 1983. **Trabalhos...** Goiânia:EMBRAPA; CNPAF; CIAT, 1983.
- GUPTA, R.K.; ELSHOUT, S.V.D.; ABROL, I.P. Effect of pH on zinc adsorption-precipitation reactions in an alkali soil. **Soil Science**, v.143, n.3, p.198-204, 1987.
- GUPTA, V. Relationship of total and not - water soluble boron and fixation of added boron, to properties of podzol soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.32, p.45-48, 1968.
- GUPTA, V.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, v.31, p.273-307, 1979.
- HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, G.; GARCIA BLANCO, H. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, v.26, n.30, p.281-391, 1967.
- HIROCE, R.; GALLO, J.R. Efeito do enxofre na produção de soja. **Bragantia**, Campinas, v.31, nota 3, p.11-12, 1972.
- HOROWITZ, A.; DANTAS, H. da S. Boro disponível nos solos da zona litoral - Mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.8, n.7, p.163-168, 1973.
- HSU, P.H.; JACKSON, M.L. Inorganic phosphate transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. **Soil Science**, v.90, p.16-24, 1960.

HUFFMAN, E.O. Reaction of phosphate in soil: recent research by TVA. **Proceedings. Fertilizer Society of London**, v.71, p.5-35, 1962.

JACKSON, M.L. Soil chemical analysis advanced course. Madison: University of Wisconsin, Dept. of Soils, 1956.

JACOB, H.; VEXKUELL, H.V. Fertilizer use, nutrition and manuring of tropical crops. 3 ed. Hannover:Verlogsgesellschaft fuer Ackerbau, 1963. 566p.

JONES, H.E.; SCARSETH, G.D. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. **Soil Science**, v.57, p.15-24, 1944.

KEREN, R.; BINGHAM, F.T. Boron in water, soils and plant. **Advances in Soil Science** . v.1, p.229-276, 1985.

KEY, J.L.; KURTZ, L.T. Response of corn and soybeans to magnesium fertilizers. **Agronomy Journal** , v.52, n.5, p.300-301, 1960.

KHASAWNEH, F.E. Solution ion activity and plant growth. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, p.426-446, 1971.

KILMER, V.J.; NEARPASS, D.C. Determination of available sulfur in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.24, p.337-340, 1960.

KLANT, E. Calagem “maciça” e disponibilidade de manganês. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 4p.

- LAROCHE, F.A. A calagem em solos tropicais de clima úmido. **Fitotecnia Latino Americana**, v.3, p.83-97, 1966.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.19, p.151-210, 1967.
- LINDSAY, W.L. Chimica equilibria in soils, New York:Wiley, 1979. 449p.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: SYMPOSIUM ON MICRONUTRIENTS IN AGRICULTURE, Muscle Shoals, 1971. **Proceedings...** Madison: SSSA, 1972, p.41-57.
- LINDSAY, W.L.; FRAZIER, A.W.; STEPHENSON, H.F. Identification of reaction products from phosphate fertilizer in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.26, p.446-452, 1962.
- MACKENZIE, A.F.; AMER, S.A. Reactions of iron, aluminum and calcium phosphates in six Ontario soils. **Plant and Soil**, v. 21, p.17-25, 1964.
- MALAVOLTA, E. Estudos químicos agrícolas sobre o enxofre. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.9, p.39-130, 1952.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1, Campinas, 1972. **Anais....** Viçosa: UFFV, 1972. v1, p.211-242.
- MALAVOLTA, E. ; MURAOKA, T. Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo. Os micronutrientes no solo. Piracicaba: CENA/USP, 1991. 7p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo: métodos de vegetação de diagnose por subtração em vasos. Piracicaba, CENA-USP, 1985. 7p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 210p.

MANDAL, L.N.; HALDER, M. Influence of phosphorus and zinc application on the availability of zinc, copper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soils. *Soil*, v.130, p.251-257, 1980.

McGEORGE, W.T.; BREZEALE, J.F. The relation of phosphate availability and carbon dioxide to the fertility of calcareous soils. **Technical Bulletin. Arizona Agricultural Experiment Station**, n.36, p.361-412, 1931.

MEDVEDEVA, D.P. Influence of calcium on potassium uptake by plants and the potassium potential of the soil. *Society Soil Science*, v.8, p.1120-1129, 1968.

MENGEL, K.; GEURTZEN G. Iron chloroses on calcareous soils. Alkaline nutritional conditions as the cause of the chlorosis. *Journal of Plant Nutrition*. v. 9, p.161-174, 1986.

- MISI, A.; KYLE, J.R. Ambiente sedimentar e origem das concentrações de sulfetos e de fosfato da região de Irecê-Lapão (grupo Una, Proterozóico superior), Bacia do Irecê-Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. **Boletim de Resumos**. Natal, 1990. p.120.
- MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo:EDUSP, 1972. 459p.
- MORAIS, F.I.O.; CABALA, F.P. Efeitos dos equilíbrios entre cálcio, magnésio e potássio no crescimento do cacaueiro. **Theobroma**, v.1, p.21-32, 1971.
- MOSS, P. ; COULTER, J.K. The potassium status of west Indian Volcanic Soils. **Journal of Soil Science**. v.15, p.284-298, 1964.
- MOURA FILHO, W. Curso de solos e adubos; física, gênese e morfologia. Viçosa:UFV, 1965. 106p.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.167-175, 1983a.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L.; NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. II. Manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.177-182, 1983b.
- OLIVEIRA, I.P. de; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: Zimmermann, M.J. de O.; Rocha, M.; Yamada, T. Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.175-212.

- OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: SYMPOSIUM ON MICRONUTRIENTS IN AGRICULTURE, Muscle Shoals, 1971. **Proceedings...** Madison:SSSA, 1972. p.243-264.
- OLSEN, S.R. ; KHASAWNER, F.E. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, ASA, 1980. p.361-410.
- OLSEN, S.R.; COLD, C.V.; WATANABE, F.S.; DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by sodium bicarbonate. Washington: USDA, 1954. (USDA-USGPO. Circular, 939).
- OLSON, R.U.; BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.11, n.5, p.216-220, 1946.
- OMAR, M.A.; EL KOBBLIA, T. Some observations on the interrelationships of potassium and magnesium. **Soil Science**, v.101, p.437-440, 1966.
- PANDEI, M. Uptake and accumulation of K, Ca and Mg by plants at increasing concentrations of one the cations in the medium. **Soils and Fertilizers**, v.35, p.1425, 1972.
- PATHAK, A.N.; KABRA, Y. Antagonism between potassium, calcium and magnesium in several varieties of hybrid corn. **Soils and Fertilizers** v.35, p.3469, 1972.
- PETERSON, L.A.; NEWMAN, R.C. Influence of soil pH on the availability of abbed boron. **Soil Science Society of American Journal**, v.40, n.2, p.280-282, 1976.

- PIERRE, W.H.; BOWER, C.A. Potassium absorption by plants as affected by cationic relationships. *Soil Science*, v.55, p.23-36, 1943.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.3, p.184-187, 1979.
- RACZ, G.J.; SOPER, R.J. reaction products of orthophosphates in soils containing varying amounts of calcium and magnesium. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 48, p.265-269, 1967.
- RAGLAND, J.L.; SEAY, W.A. The effects of exchangeable calcium on the retention and fixation of phosphorus by clay fractions of soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.21, p.261-264, 1957.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solos para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983, 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81)
- RAIJ, B. van. Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana de açúcar. *Ciência e Cultura*, v. 26, n.6, p.575-579, 1974.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAVIKOVITCH, S. Influence of exchangeable cations on the availability of phosphorus in soils. *Soil Science*, v.47, p.357-366, 1939.

- RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico**, n.100, p.1-107, 1985.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison: SSA, 1973, p.173-200.
- RESENDE, M. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília. Ministério da Educação; Lavras:ESAL; Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81p.
- RESENDE, M. Pedologia - Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 100p.
- RIBEIRO, A.C.; TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.85-89, 1984.
- RIBEIRO, H.C.; BRAGA, J.M. Adsorção de boro pelo solo. **Experientiae**, v.17, p.293-310, 1974.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: USDA, US Salinity Laboratory, 1954. 160p. (Hbk, 60).
- ROCHA, M.; MALAVOLTA, E. Perspectiva de demanda, comercialização e produção industrial de enxofre e micronutrientes para a agricultura. In: BOKERT, C.M.; LANTMANN, A. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina: EMBRAPA-CNPSO; IAPAR; SBSCS, 1988. p.277-309.

- ROCHE, R.; GRIERE, L.; BABRE; CALBA, H.; FALLAVIER, R. O fósforo nos solos tropicais: apreciação dos níveis de carência e das necessidades de fósforo. Paris: Institut Mondial de Phosphate, 1980. B.2, 48p
- ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species **Advances in Plant Nutrition**, v.2, p.155-204, 1986.
- RUSSELL, J.E.; RUSSEL, W.E. Las condiciones del suelos y el crecimiento de las plantas. Madrid: Aguilar, 1968. 801p.
- SAKAL, R.; SINGH, B.P.; SINGH, A.P. Determination of critical limit of zinc in soil and plant for predicting response of rice to zinc application in calcareous soil. **Plant and Soil**, v.66, p.129-132, 1982.
- SANCHEZ CONDE, M.P.S. Evaluación de la interaction Ca-K em plantas de lechuga de diferente desarrollo. **Agrochimica**, v.24, p.330-57, 1980.
- SANTOS, S.M.L. dos Contribuição à caracterização: gênese e classificação de alguns solos desenvolvidos sobre calcários da região de Irecê-Xique-Xique-BA, 1976. 188p. (Dissertação)- Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- SCHALSCHA, E.B.; BINGHAM, F.T.; CALINDO, G.G.; GALVAN, H.P. Boron adsorption by volcanic ash soils in southern Chile. **Soil Science**, v.116, n.2, p.70-76, 1973.
- SCHWARTZ, R. Magnesium. In: Smith, ed. Trace minerals in foods. New York: Marcel Dekker, 1988. p.117-155.

SEN GUPTA, M.B.; CORNFIELD, A.H. Phosphorus in calcareous soil. I. The inorganic phosphate fractions and their relation to the amount of calcium carbonate present. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.13, p.652-658, 1962.

SOARES, E. Influência da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (*Secale cereale* L.). Piracicaba. 1975. 73p. (Dissertação) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SOARES, E. Influência do teor de potássio trocável do solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja. Piracicaba. 1978. 116p. (Tese) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SOARES, E.; BULL, L.T.; LIMA, L.A. Efeito da relação Ca:Mg:K, da saturação em bases e da adubação nitrogenada na cultura do trigo cultivado em solo Latossolo Vermelho Escuro. **Revista de Agricultura**, v.63, p.225-233, 1988.

SOARES, E.; LIMA, L.A.; MISCHAN, M.M.; MELLO, F.A.F.; BOARETTO, A.E. Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de centeio. **Revista de Agricultura**, v.58, p.315-330, 1983.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análises de solo, planta e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Depto de Solos, 1985. 188p. (Boletim técnico, 5).

THOMAS, G.H.; PEASLEE, D.E. testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M. ; BEATON, J.D., eds. **Soil Testing and Plant Analysis**. Madison: SSSA, 1973. p.115-132.

- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 3.ed. New York: MacMillan, 1975. 694p.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers. 4 ed. New York: MacMillan, 1985. 754p.
- VALADARES, J.M.A.S.; CATANI, R.A. Zinco em solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.34, n.5, p.134-139, 1975.
- VERDADE, F. da C. Análise química total. In: Moniz, A.C., coord. Elementos de pedologia. São Paulo, EDUSP, 1975, cap. 17, p.209-221.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Análise de Solos, 1969. (EPE-MA. Boletim, 7).
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre do solo e na planta. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p. (Boletim técnico).
- VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; FERREIRA, M.E.; RAGAZZI, D.; HING, L.T. Efeito de doses de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista de Agricultura**, v.57, n.3, p.119-132, 1982.
- VOSE, P.B.; JONES, D.G. The interaction of manganese and calcium on nodulation and growth in varieties of *Trifolium repens*. **Plant and Soil**, v.18, p.372-385, 1963.
- WAADINGTON, D.V.; MOBERG, E.L.; DUICH, J.M. Effect of N source, K source, and K rate on soil nutrient levels and Bentgrass, *Agrostis palustris* Hucls. **Agronomy Journal**, v.64, p.562-566, 1972.

- WHITE, J.L.; JACKSON, M.L. Glycerol solvation of soil clays for x-ray diffraction analysis: **Soil Science Society of America Proceedings**, v.11, p.150-154, 1947.
- WIKLANDER, L. Cation and anion exchange phenomina. In: BEAR, F.E., ed. **Chemistry of the soil**. 2. ed. New York, Reinhold, 1964. p.163-205.
- WOODRUFF, C.M. Ionic equilibria between clay and dilute salt solution. **Soil Science Society America Proceedings**, v.19, p.36-40, 1955a.
- WOODRUFF, C.M. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. **Soil Science Society of America Proceedings** . v.19, p.167-171, 1955b.
- WOODRUFF, C.M.; McINTOSH, J.L. Testing soils for potassium. In: 7th INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, Madison, 1960. **Proceedings....** Madison, 1960, v.4, p.80-85.
- YANG, M.; ROMHELD, V.; MARSCHNER. Effect of bicarbonate and root zone temperature on uptake de Zn, Fe, Mn and Cu by different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) grown in calcareous soil. **Plant Nutrition**, p.657-660, 1993.
- YASREBI, J.; KARIMIAN, N.; MAFTOUN, M.; ABTAHI, A.; SAMENI, A.M. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulphate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.2133-2146, 1994.
- YORK, E.T. Jr; BRADFIELD, D.; PEECH, M. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. **Soil Science**, v.77, p. 53-65, 1954.