

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO NA CULTURA DO MILHO

FRANCISCO RAFAEL DA SILVA PEREIRA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia – Agricultura.

**BOTUCATU - SP
Dezembro – 2010**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO NA CULTURA DO MILHO

FRANCISCO RAFAEL DA SILVA PEREIRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. SILVIO JOSE BICUDO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia –Agricultura.

BOTUCATU - SP
Dezembro – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P436d Pereira, Francisco Rafael da Silva, 1983-
Doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do
milho / Francisco Rafael da Silva Pereira. - Botucatu :
[s.n.], 2010
xv, 141 f. : gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010
Orientador: Silvio Jose Bicudo
Inclui bibliografia.

1. Milho. 2. Molibdênio na planta. 3. Molibdênio no so-
lo. 4. Nitrato redutase. I. Bicudo, Silvio Jose. II. Uni-
versidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **DOSES E FORMAS DE APLICAÇÃO DE MOLIBDÊNIO NA
CULTURA DO MILHO**

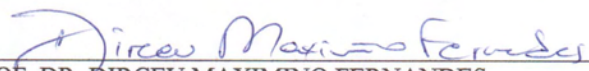
ALUNO: FRANCISCO RAFAEL DA SILVA PEREIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. SILVIO JOSE BICUDO

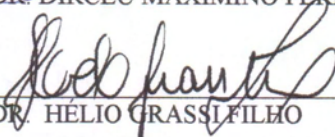
Aprovado pela Comissão Examinadora



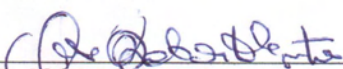
PROF. DR. SILVIO JOSE BICUDO



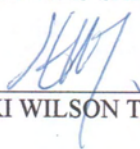
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. HÉLIO GRASSI FILHO



PROF. DR. JOSE ROBERTO SANTOS



PROF. DR. HIDEAKI WILSON TAKAHASHI

Data da Realização: 17 de dezembro de 2010.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Francisco Rafael da Silva Pereira, filho de José Francisco Costa Pereira e Ivone da Silva Pereira, nasceu na cidade de Penedo, Estado de Alagoas em 05 de dezembro de 1983.

Diplomou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Alagoas, em 2006.

Em março de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração Agricultura, no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, obtendo o título em junho de 2007.

Em agosto de 2007 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração Agricultura, no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu.

Atualmente é professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

A minha família...

Exemplo de amor sublime!!!!

A minha noiva Juliana Campana...

Com quem desejo vivenciar esse amor
e formar uma linda família.

DEDICO

OFEREÇO

Aos amigos e amigas que Deus me
concedeu a graça de encontrar nessa
jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor criador e Pai celestial por me oferecer tudo que preciso para ser feliz; e à Mãezinha do Céu por sempre interceder ao Pai por mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Silvio José Bicudo, pela confiança, pelos ensinamentos, pelo exemplo de vida e pela amizade.

Aos professores Dr. José Roberto Santos e Dr. Abel Washington de Albuquerque pela valorosa contribuição na minha formação acadêmica e principalmente pela amizade.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

A Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP e ao Departamento de Produção Vegetal, Setor de Agricultura, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso.

Aos Professores do Departamento de Produção Vegetal, Setor de Agricultura pelos ensinamentos e incentivo.

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto (IB/UNESP-Campus de Botucatu), pela atenção, compreensão e disponibilização de laboratório e material para realização de análise enzimática.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura e Melhoramento Vegetal: Lana, Verinha, Valéria, Dorival, Célio, Valdemir (Fio), Mateus, Camargo, Casimiro e Aparecido, pela amizade, apoio e dedicação.

Aos funcionários da biblioteca “Paulo de Carvalho Mattos” e da Seção de Pós-Graduação, pelo eficiente e caloroso atendimento.

Aos meus pais José Francisco Costa Pereira e Ivone da Silva Pereira, por sempre viver o Amor, pela família linda que constituíram e da qual tanto me orgulho.

Aos meus irmãos Ana Clara da Silva Pereira e Pedro Lucas da Silva Pereira, pelo amor incondicional e amizade eterna.

A minha noiva Juliana Campana pelo apoio e principalmente pelo seu amor que me faz desejar ser uma pessoa melhor.

Ao Simério, Carla e José Iran pela amizade fraternal vivenciada ao longo desses anos.

Aos colegas de equipe de trabalho Elizeu, Simério, Edeimar, Magno, Eduardo Barreto, Felipe, Saulo, Hermerson, Rômulo, Amilto (Rêmilton), Bernardo (Poter), pela colaboração em diversas etapas da execução desse trabalho.

Aos colegas de curso, pelo incentivo.

A todos aqueles que embora não mencionados contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Molibdênio na planta.....	7
4.1.1 Atividade enzimática	11
4.1.1.1 Nitrato redutase.....	12
4.1.2 Molibdênio na semente.....	13
4.1.3 Determinação de molibdênio na planta - sementes e folhas	15
4.2 Molibdênio no solo.....	17
4.2.1 Determinação do molibdênio no solo	20
4.3 Formas de aplicação de molibdênio.....	23
4.3.1 Aplicação via semente	24
4.3.2 Aplicação foliar.....	25
4.3.3 Aplicação via solo.....	27
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
5.1 Experimentos conduzidos na casa de vegetação	29
5.1.1 Localização da área experimental.....	29
5.1.2 Descrição do clima.....	29
5.1.3 Tratamentos e delineamento experimental	30
5.1.4 Caracterização do solo.....	31
5.1.5 Instalação e condução dos experimentos	32
5.1.6 Aplicação do molibdênio	33
5.2 Avaliação fitotécnica da cultura do milho.....	34
5.2.1 Altura das plantas e inserção de espiga	34
5.2.2 Diâmetro do colmo	34
5.2.3 Área foliar e índice de área foliar	35
5.2.4 Diagnose foliar.....	35
5.2.4.1 Análise de molibdênio	35
5.2.5 - Atividade da enzima nitrato redutase	36
5.2.6 Massa seca relativa	37
5.3 Análise de química do solo	37
5.3.1 Análise do molibdênio no solo	37
5.4 Análise estatística.....	38
5.5 Seleção do híbrido utilizado nos experimentos em casa de vegetação	38
5.5.1 Testes para caracterização da qualidade fisiológica das sementes	39
5.5.1.1 Teor de água das sementes (TA)	39
5.5.1.2 Germinação.....	39
5.5.1.3 Primeira contagem da germinação	40
5.5.1.4 Precocidade de emissão de raiz primária.....	40

5.5.1.5 Sementes duras	40
5.5.1.6 Teste de tetrazólio.....	40
5.5.2 Análise estatística	41
5.5.3 Teor de molibdênio na semente	41
5.6 Experimentos realizados em laboratório relação solo planta.....	42
5.6.1 Preparo das soluções utilizadas nos experimentos	42
5.6.2 Avaliação das soluções que retiram o molibdênio retido na resina trocadora de íons	43
5.6.2.1 Tratamentos e delineamento experimental	44
5.6.2.2 Condução do experimento	45
5.6.2.3 Extração do molibdênio do solo	45
5.6.2.4 Retirada do molibdênio da resina	45
5.6.2.5 Curva-padrão de molibdênio	46
5.6.2.6 Determinação do molibdênio no extrato do solo.....	46
5.6.3 Estudo detalhado da retirada do molibdênio retido na resina trocadora de íons com a solução Sims	47
5.6.3.1 Avaliação pH da solução Sims	47
5.6.3.2 Determinação de molibdênio com a solução Sims.....	47
5.6.3.2.1 Condução do experimento	47
5.6.3.2.2 Retirada do molibdênio retido na resina	48
5.6.3.2.3 Curva-padrão de molibdênio	48
5.6.3.2.4 Determinação do molibdênio no extrato do solo	49
5.6.4 Análise estatística	49
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1 Seleção do híbrido para ser utilizado nos experimentos da casa de vegetação.....	51
6.2 Experimentos realizados em laboratório relação solo planta.....	58
6.2.1 Avaliação das soluções que retiram o molibdênio da resina trocadora de íons.....	58
6.2.2 Avaliação da solução Sims que retira o molibdênio da resina trocadora de íons	64
6.2.2.1 Avaliação pH da solução Sims	64
6.2.2.2 Determinação de molibdênio com a solução Sims.....	67
6.2.2.2.1 Absorbância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims	67
6.2.2.2.2 Teor de molibdênio retirado da resina com a solução Sims	68
6.3 Experimentos conduzidos na casa de vegetação	75
6.3.1 Diagnose foliar.....	75
6.3.2 Teor de molibdênio na planta	76
6.3.2.1 Experimentos I e II	76
6.3.2.2 Experimento III.....	95
6.3.3 Atividade da enzima nitrato redutase.....	99

6.3.3.1 Experimento III.....	99
6.3.4 Atributos químicos do solo	103
6.3.4.1 Molibdênio no solo.....	104
6.3.4.2 Teor de molibdênio na planta X Teor de molibdênio no solo	107
6.3.5 Componentes morfológicos	108
6.3.5.1 Experimento I.....	108
6.3.5.2 Experimento II.....	113
6.3.6 Massa seca relativa	116
6.3.6.1 Experimento I.....	116
6.3.6.2 Experimento III.....	121
6.4 Considerações Finais	122
7 CONCLUSÕES	123
8 REFERÊNCIAS	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura média e umidade relativa do ar na casa de vegetação do período de março a maio de 2008. Botucatu (SP), 2010.	30
Figura 2. Teste de médias T(LSD) do vigor das sementes duras obtido através do teste do tetrazólio. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste T (LSD).	54
Figura 3. (A)- Precocidade de emissão de raízes primárias (PERP); (B)- primeira contagem (PC); (C)- germinação (G); e (D)- sementes duras (SD), em função de doses crescentes de molibdênio (Mo). Botucatu-SP, 2010.....	56
Figura 4. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Dallpai 1, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 3,2223x + 0,46$ $R^2 = 0,95^{**}$; RL: $y = 3,5134x + 0,8235$ $R^2 = 0,87^{**}$; LRa: $y = 3,1594x + 0,7978$ $R^2 = 0,98^{**}$	61
Figura 5. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Dallpai 2, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 7,7919x + 0,2694$ $R^2 = 0,97^{**}$; RL: $y = 6,6764x + 0,4236$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 6,5695x + 0,6256$ $R^2 = 0,99^{**}$	62
Figura 6. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Sims, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 7,558x + 0,4025$ $R^2 = 0,97^{**}$; RL: $y = 5,1489x + 0,1788$ $R^2 = 0,99^{**}$; LRa: $y = 6,6925x + 0,0366$ $R^2 = 1,00^{**}$	62
Figura 7. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Ritchie, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 10,803x + 0,8274$ $R^2 = 0,98^{**}$; RL: $y = 7,4141x + 0,8011$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 11,66x + 0,1139$ $R^2 = 0,99^{**}$	63
Figura 8. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Sherell, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 6,0771x + 1,2097$ $R^2 = 0,90^{**}$; RL: $y = 8,6347x + 0,6291$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 8,6047x + 0,5215$ $R^2 = 0,99^{**}$	63
Figura 9. Correlação de Pearson entre pH da solução Sims e absorbância da amostra, para cada dose (0,0; 0,01; 0,02; 0,05; 0,2; 0,8 mg dm ⁻³) da curva padrão de molibdênio.....	65
Figura 10. Teor de molibdênio determinado na areia lavada, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L ⁻¹ : curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.	71
Figura 11. Teor de molibdênio determinado no solo RL, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L ⁻¹ : curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.	72
Figura 12. Teor de molibdênio determinado no solo LRa, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L ⁻¹ : curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.	73
Figura 13. Teste de médias do teor de molibdênio na folha diagnose de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.....	77

Figura 14. Teste de médias para o teor de molibdênio na folha diagnose de milho entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.	78
Figura 15. Teste de médias para o teor de molibdênio nos grãos de milho entre o solo RL e o solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.....	78
Figura 16. Teste de médias do teor de molibdênio no caule de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.....	80
Figura 17. Teste de médias do teor de molibdênio no caule de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento II. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.....	80
Figura 18. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010.	82
Figura 19. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	83
Figura 20. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.....	85
Figura 21. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	86
Figura 22. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	88
Figura 23. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.....	89
Figura 24. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	91
Figura 25. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.....	92
Figura 26. Teor de molibdênio no caule de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	94
Figura 27. Teor de molibdênio no caule de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	94
Figura 28. Teor de molibdênio na folha de milho na 1ª coleta em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.	97
Figura 29. Teor de molibdênio na folha de milho na 2ª coleta em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.	98
Figura 30. Teor de molibdênio na folha de milho na 3ª coleta em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha e via solo. Botucatu-SP, 2010.	99
Figura 31. Atividade da nitrato redutase em milho na 1ª coleta em função da dose de molibdênio (g ha^{-1}) aplicado via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.	102
Figura 32. Atividade da nitrato redutase em milho na 2ª coleta em função da dose de molibdênio (g ha^{-1}) aplicado via folha, via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.	103
Figura 33. Teor de molibdênio no solo LRa (mg dm^{-3}) em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.....	106

Figura 34. Teor de molibdênio no solo (mg dm^{-3}) em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.....	106
Figura 35. Correlação de Pearson entre o teor de molibdênio determinado na planta e o teor de molibdênio determinado no solo, no Experimento I, para os solos LRa e RL.....	107
Figura 36. Correlação de Pearson entre o teor de molibdênio determinado na planta e o teor de molibdênio determinado no solo, no Experimento II, para os solos LRa e RL.....	107
Figura 37. Teste de médias para o diâmetro do colmo (mm) entre o solo RL e o solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.	109
Figura 38. Teste de médias para o diâmetro do colmo (mm) entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.	110
Figura 39. Altura de inserção da espiga, da forma de aplicação via semente; e Índice de área foliar, da forma de aplicação via solo, no solo RL, no Experimento I, em função da dose de molibdênio. Botucatu-SP, 2010.....	112
Figura 40. Índice de área foliar e Diâmetro do colmo, da forma de aplicação via folha; e Diâmetro do colmo, da forma de aplicação via solo, no solo LRa, no Experimento I, em função da dose de molibdênio. Botucatu-SP, 2010.....	113
Figura 41. Teste de médias para a altura de plantas (cm) entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.	114
Figura 42. Teste de médias para a altura de inserção de espiga (cm) entre o solo RL e solo LRa, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.	115
Figura 43. Massa seca relativa (%) de folhas em função da dose de molibdênio aplicado via folha, no solo RL, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.....	119
Figura 44. Massa seca relativa (%) de folhas em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no solo RL, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.	119
Figura 45. Massa seca relativa (%) de folhas, caule, grãos e espiga em função da dose de molibdênio aplicado via folha, no solo LRa, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.	120
Figura 46. Massa seca relativa de folhas (%) em função da dose de molibdênio aplicado via semente e via solo, no solo LRa, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos granulométricos dos solos utilizados no experimento. RL - Neossolo Litólico e LRa - Latossolo Roxo álico. Botucatu-SP, 2010.	31
Tabela 2. Atributos químicos dos solos utilizados no experimento. RL - Neossolo Litólico e LRa - Latossolo Roxo álico. Botucatu-SP, 2010.	32
Tabela 3. Massa de 1000 sementes de cinco híbridos. Botucatu-SP, 2010.	39
Tabela 4. Teor de molibdênio nas sementes de cinco híbridos de milho. Botucatu-SP, 2010.	42
Tabela 5. Resumo da análise de variância (valores de F) para as causas de variação: híbrido (H), dose (D) e suas interações (H*D) da variável teor de água das sementes (TA), precocidade de emissão de raízes primárias (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.	52
Tabela 6. Teste de T da precocidade de emissão de raiz primária (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.	53
Tabela 7. Resumo da análise de variância (valores de F) para a causa de variação híbrido (H) da variável vigor e viabilidade avaliadas pelo teste do tetrazólio das sementes duras. Botucatu-SP, 2010.	53
Tabela 8. Equação de regressão e coeficiente de determinação de precocidade de emissão de raízes primárias (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.	57
Tabela 9. Dose máxima de molibdênio na forma de molibdato de sódio (85% de germinação), aplicado via tratamento de sementes, suportada por híbridos de milho. Botucatu-SP, 2010.	58
Tabela 10. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, Solução que retira o molibdênio da resina (SRMR), solo (S), dose (D) e suas interações para a variável teor de molibdênio do solo (mg dm^{-3}). Botucatu-SP, 2010.	59
Tabela 11. Desdobramento da interação solução que retira o molibdênio da resina (SRMR)*solo para o teor médio de molibdênio (mg dm^{-3}) do solo. Botucatu-SP, 2010.	60
Tabela 12. Coeficiente de determinação da regressão linear entre molibdênio adicionado na areia lavada, solo RL, solo LRa e molibdênio retirado da resina por cinco soluções. Botucatu-SP, 2010.	64
Tabela 13. Coeficiente de determinação da regressão linear entre padrões molibdênio e absorvância em diferentes valores de pH da solução NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 mol L^{-1} . Botucatu-SP, 2010.	66
Tabela 14. Valores de pH (CaCl_2) sem e com calagem na areia lavada, solo RL e solo LRa em quantidades crescentes de molibdênio adicionado ao solo. Botucatu-SP, 2010.	67
Tabela 15. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, solo (S), calagem (C), dose (D) e suas interações para a variável absorvância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims. Botucatu-SP, 2010.	68
Tabela 16. Desdobramento da interação solo versus calagem para absorvância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims. Botucatu-SP, 2010.	68
Tabela 17. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, solo (S), calagem (C), dose (D) e suas interações para a variável teor de molibdênio (mg dm^{-3}) correspondentes a curva de calibração curva HCl $0,125 \text{ Mol L}^{-1}$ (pH=0,8) e curva de calibração da solução Sims (pH=1,8). Botucatu-SP, 2010.	69

Tabela 18. Desdobramento da interação solo versus calagem, para o teor de molibdênio retirado da resina com solução Sims, correspondente a curva de calibração com HCl 0,125 Mol L ⁻¹ (pH=0,8). Botucatu-SP, 2010.....	70
Tabela 19. Desdobramento da interação solo versus calagem, para o teor de molibdênio retirado da resina com solução Sims, correspondente a curva de calibração com solução Sims (pH=1,8). Botucatu-SP, 2010.	70
Tabela 20. Teste de média do coeficiente de determinação da regressão linear obtida a partir das curvas de calibração HCl 0,125 Mol L ⁻¹ e solução Sims, nas faixas de concentração de molibdênio de 0,0 a 0,8 e 0,0 a 0,2 mg dm ⁻³ . Botucatu-SP, 2010.	74
Tabela 21. Teor de macronutrientes (g kg ⁻¹) na folha diagnose de plantas de milho híbrido DOW 2B587. Botucatu-SP, 2010.....	75
Tabela 22. Teor de macronutrientes (mg kg ⁻¹) na folha diagnose de plantas de milho híbrido DOW 2B587. Botucatu-SP, 2010.....	75
Tabela 23. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha diagnose, grãos e caule de milho, nos Experimentos I e II. Botucatu-SP, 2010.	76
Tabela 24. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para o teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) nos grãos de milho, no Experimento II (sem calagem). Botucatu-SP, 2010.....	79
Tabela 25. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha diagnose de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	81
Tabela 26. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha diagnose milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	83
Tabela 27. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio nos grãos de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.....	87
Tabela 28. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio nos grãos de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	90
Tabela 29. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no caule de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	93
Tabela 30. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no caule de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.....	93
Tabela 31. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: Repetição, Coleta (C), Forma de Aplicação (FA) e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	95
Tabela 32. Desdobramento da interação Coleta*Forma de Aplicação para o teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) na folha de milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	96
Tabela 33. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha de milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	96

Tabela 34. Desdobramento da interação Coleta*Forma de Aplicação para a atividade da enzima nitrato redutase ($\mu\text{mol nitrito g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	100
Tabela 35. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável atividade da enzima nitrato redutase, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	101
Tabela 36. Atributos químicos do solo LRA e solo RL, nos Experimentos I, II e III, no estágio de florescimento do milho. Botucatu-SP, 2010.	104
Tabela 37. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição e Solo (S); referente ao teor de molibdênio no solo, nos Experimentos I e II. Botucatu-SP, 2010.	105
Tabela 38. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no solo, nos Experimentos I, II e III. Botucatu-SP, 2010.	105
Tabela 39. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações, referente aos componentes morfológicos índice de área foliar (IAF), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e diâmetro do colmo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	108
Tabela 40. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para o índice de área foliar, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	109
Tabela 41. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis índice de área foliar, altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho para o solo RL e solo LRA, nas três formas de aplicação, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	111
Tabela 42. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente aos componentes morfológicos altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e diâmetro do colmo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	114
Tabela 43. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho para o solo RL e solo LRA, nas três formas de aplicação, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.	115
Tabela 44. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente a massa seca relativa das folhas, colmo, folhas+colmo, grãos, sabugo e espiga, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	116
Tabela 45. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para a massa seca relativa (%) das folhas, caule, folha+caule, grãos e espigas e diferença mínima significativa (DMS), no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	117
Tabela 46. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis massa seca relativa das folhas, caule, grãos, sabugo e espiga de milho para o solo RL e solo LRA, nas três formas de aplicação, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.	118
Tabela 47. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente a massa seca relativa das folhas e massa seca relativa do caule, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	121

Tabela 48. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis massa seca relativa das folhas, caule de milho para o solo RL e solo LRa, nas três formas de aplicação, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.	122
--	-----

1 RESUMO

Considerando a hipótese de que a eficácia da utilização do molibdênio é dependente do ajuste em etapas importantes da determinação de sua concentração no solo, bem como da dose e forma de aplicação, realizou-se a presente pesquisa com o objetivo de aprimorar a etapa de retirada do molibdênio da resina trocadora de íons, durante o procedimento analítico de determinação de molibdênio na solução do solo; e avaliar a eficácia de doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do milho. Para o aprimoramento da etapa de retirada do molibdênio da resina trocadora de íons, durante o procedimento analítico de determinação de molibdênio, foram realizados estudos no laboratório para avaliar qual a solução que retira o molibdênio retido na resina melhor representava o molibdênio adicionado ao solo, sendo aplicados nesses estudos o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para avaliar a eficácia de doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do milho, foram instalados três experimentos em casa de vegetação pertencente à FCA/UNESP, Campus de Botucatu, em dois anos. No primeiro ano foram realizados dois experimentos, um com calagem: Experimento I; e outro sem calagem: Experimento II; no segundo ano foi realizado mais um experimento com calagem: Experimento III. O delineamento experimental, para os três experimentos foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os experimentos I e II obedeceram a um arranjo fatorial de $2 \times 3 \times 4 + 1$, sendo seus tratamentos compostos por dois tipos solos com texturas diferentes: Neossolo Litólico (RL) e Latossolo Roxo álico (LRa); três formas de aplicação: via folha, via semente e via solo; e quatro doses

de molibdênio: 25, 100, 400 e 1600 g ha⁻¹ (para a aplicação via folha e via solo) e 5,625; 11,25; 22,5 e 45,0 g ha⁻¹ (para a aplicação via semente), mais uma testemunha absoluta, sem adubação molibídica. O Experimento III foi instalado em apenas um tipo de solo, o Nitossolo litólico (RL), num arranjo fatorial de 3X4+1, sendo os tratamentos compostos pelas mesmas formas de aplicação e doses de molibdênio utilizadas nos Experimentos I e II. Os experimentos foram instalados em parcelas experimentais constituídas de vasos de 50 litros de solo. A escolha do híbrido a ser utilizado foi baseada na qualidade fisiológica de sementes e no menor teor de molibdênio contido na semente dos diversos híbridos avaliados, tendo sido eleito o híbrido de milho DOW 2B587. Para viabilizar a aplicação do molibdênio via solo foi realizada a mistura do molibdato de sódio com areia lavada de granulometria compatível com o fertilizante. A aplicação nas sementes foi realizada através da diluição do molibdato de sódio em um fungicida utilizado para o tratamento das sementes. A aplicação foliar, também realizada com molibdato de sódio como fonte de molibdênio, foi realizada aos 15 dias após a emergência. Foram avaliados na planta de milho: componentes morfológicos, atividade enzimática da nitrato redutase (Experimento III), teor de nutrientes e massa seca da parte aérea. No solo foi realizado ao final de cada ciclo da cultura milho, análise química do solo para fins de fertilidade e o teor de molibdênio disponível. Todos os dados originais foram submetidos à análise de variância e as médias de tratamentos comparadas por teste de médias ou foram submetidas a análise de regressão. Concluiu-se que a solução Sims (NaNO₃ 2 Mol L⁻¹ + HCl 2 Mol L⁻¹, adaptada de Sims, 1996), com pH entre 1,2 e 1,8, é a solução que retira o molibdênio da resina que melhor representa a concentração de molibdênio, determinado pelo método do iodeto de potássio, no Neossolo Litólico (RL), tanto com calagem quanto sem calagem; não sendo representativa para a concentração de molibdênio no Latossolo Roxo álico (LRa). O milho cultivado no Latossolo Roxo álico (LRa) apresenta melhor desempenho, em relação aos parâmetros avaliados, que no Neossolo Litólico (RL), embora o milho cultivado nos dois solos, tanto com calagem quanto sem calagem, seja responsivo a doses crescentes de molibdênio. As formas de aplicação de molibdênio via folha, via semente e via solo apresentam respostas equivalentes na planta de milho, sendo a forma de aplicação via semente a que representa maior eficiência da utilização do molibdênio pela planta.

Palavras chave: molibdênio no solo, molibdênio na planta, nitrato redutase.

DOSES AND APPLICATION FORMS OF MOLIBDENUM IN MAIZE CROP. Botucatu, 2010. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FRANCISCO RAFAEL DA SILVA PEREIRA

Adviser: SILVIO JOSE BICUDO

2 SUMMARY

Assuming that the effective use of molybdenum is dependent on accurate determination of its concentration in soil as well as the dose and method of application, put into practice this research with the objective of improving the determination of the concentration of molybdenum in soil and evaluate the effectiveness of application methods and doses in maize. To improve the determination of molybdenum in soil, studies were carried in the laboratory to evaluate which solution mixed extraction of molybdenum contained in the resin that best represented the molybdenum added to soil, being applied in these studies the entirely randomized design, with four replications. To evaluate the effectiveness of doses and methods of application of molybdenum in maize, essays were carried in a greenhouse belonging to the FCA/UNESP, Botucatu, in two years. In the first year two experiments had been carried through, one with lime: Experiment I; another without lime: Experiment II; in the second year it was carried through an experiment with lime: Experiment III. The experimental design, in the three experiments, was a randomized block with four replications. In the experiments I and II used a factorial arrangement of $2 \times 3 \times 4 + 1$, being their treatments made of two soils with different textures: soil Neossolo Litólico (LR) and soil Latassolo Roxo álico (LRa), three application forms (leaf, seeds, and soil applications) and four levels of molybdenum: 25, 100, 400 and 1600 g ha^{-1} (for leaf and soil applications) and 5.625, 11.25, 22.5 and 45.0 g ha^{-1} (for seeds application) and a control without molybdenum fertilization. The Experiment III was installed in only kind of soil, the Nitossolo Litólico (RL), in factorial arrangement of $3 \times 4 + 1$, being their treatments made of by same application forms and levels of molybdenum used in Experiments I and II. The essays were conducted on experimental plots

consisting of vessels of 50 liters of soil. The choice of the hybrid was made from the seed physiological quality and content of molybdenum contained in the seed of different hybrids. Was sowed the hybrid maize DOW 2B587. To enable the application of molybdenum in the soil was carried out mixing the sodium molybdate with sand washed size compatible with the fertilizer. The seeds application was carried out by dilution of sodium molybdate in a fungicide used for seed treatment. The foliar application, also carried out with sodium molybdate as a source of molybdenum, was carried out 15 days after emergence. Were evaluated in maize plants: morphological components, nitrate reductase enzyme activity (Experiment III), nutrient content and shoot dry mass. At the soil was carried out soil test for fertility and molybdenum content available at the end of each maize crop cycle. All original data were subjected to analysis of variance and treatment means compared by test mean or were subjected to regression analysis. It was concluded that the method of extraction of molybdenum retained in the resin with solution mixed NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1} (Sims), with pH between 1.2 and 1.8, among the extractants tested, is which better represents the concentration of molybdenum in the soil determined by method of potassium iodide. Maize grown in Latossolo Roxo álico (LRA) shows better performance, with respect to parameters evaluated, than Nitossolo Litólico (LR), although the corn grown in both soils is responsive to increasing doses of molybdenum. The methods of application of molybdenum in leaf, seeds and soil have equivalent responses in the corn plant, with the seeds application the most efficient in the use of molybdenum in the plant.

Key words: molybdenum in the soil, molybdenum in the plant, nitrate reductase enzyme.

3 INTRODUÇÃO

O molibdênio é um dos micronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas. Apesar disso, muitas pesquisas têm apresentado respostas interessantes a aplicação de molibdênio em diferentes culturas, inclusive na cultura do milho, indicando possíveis limitações no suprimento deste elemento pelos solos brasileiros.

O molibdênio é capaz de mediar diversas reações de oxi-redução nos sistemas biológicos. No metabolismo das plantas uma de suas principais funções é o indispensável papel que ele exerce na assimilação do nitrato absorvido pelas plantas, atuando na enzima nitrato redutase. Portanto, qualquer deficiência desse elemento pode comprometer o metabolismo do nitrogênio, diminuindo o rendimento das culturas.

A eficiência da adubação com micronutrientes está relacionada com o método de aplicação, via solo, folha ou semente. Assim, um dos mais importantes temas de pesquisa é a investigação da eficiência de diferentes doses associadas à forma de fornecimento de molibdênio para a cultura.

A despeito da sua importância, poucas são as experiências brasileiras com análise de solo para o molibdênio, isso porque, a determinação do molibdênio no solo apresenta grandes dificuldades devido as suas características, bem como as pequenas quantidades presentes no solo.

Considerando a hipótese de que a eficácia da utilização do molibdênio é dependente do ajuste em etapas importantes da determinação de sua concentração no solo, bem como da dose e forma de aplicação, realizou-se a presente pesquisa com o objetivo de aprimorar a etapa da retirada do molibdênio da resina trocadora de íons, durante o procedimento analítico de determinação de molibdênio na solução do solo; e avaliar a eficácia de doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do milho.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Molibdênio na planta

A natureza essencial do molibdênio (Mo) para plantas superiores foi primeiro reportada por Arnon e Stout em 1939. Em seus estudos, esses autores testaram o requerimento de molibdênio pelo tomate através do então recém estabelecido critério de essencialidade. Plantas crescidas em solução purificada desenvolveram sintomas de deficiência na ausência de molibdênio e esses sintomas foram prevenidos com o fornecimento de 0,01 mg de molibdênio L⁻¹ diretamente no meio radicular. Quando a aplicação do molibdênio foi realizada via folhas, o crescimento normal das plantas deficientes foi recuperado, estabelecendo dessa forma que o molibdênio exerceu seus efeitos diretamente no crescimento e não indiretamente afetando o ambiente radicular.

O molibdênio está presente nas plantas como ânion principalmente em sua forma mais altamente oxidada, Mo⁺⁶, mas também como Mo⁺⁵ e Mo⁺⁴ (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Apesar de o molibdênio ser um dos micronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas, ele é capaz de mediar muitas reações de oxi-redução nos sistemas biológicos (SRIVASTAVA, 1997).

No metabolismo da planta, sua participação se relaciona intensamente com o transporte de elétrons que ocorre durante as reações bioquímicas das plantas (LANTMANN, 2002); e atua em algumas enzimas como nitrogenase, redutase do nitrato,

xantonina desidrogenase, sulfito oxidase e aldeído oxidase (MARSCHNER, 1995; ZIMMER e MENDEL, 1999).

O molibdênio é absorvido pelas raízes das plantas na forma de íon molibdato (MoO_4^{2-}) e considera-se que sua absorção é controlada metabolicamente (MENGEL e KIRBY, 1987). No transporte em plantas, o molibdênio é prontamente móvel no xilema e floema (KANNAN e RAMANI, 1978). A forma a qual o molibdênio é translocado é ainda desconhecida, mas suas propriedades químicas indicam que esse nutriente é mais comumente transportado como MoO_4^{2-} que em formas complexadas (MARSCHNER, 1995). A proporção de vários constituintes de molibdênio em plantas naturalmente depende da quantidade de molibdênio absorvido e acumulado no tecido. Mo-enzimas, como a nitrogenase e a nitrato redutase, constituem o maior reservatório do molibdênio absorvido, mas, sob condições de excesso, o molibdênio pode ser armazenado nos vacúolos das células periféricas das plantas (HALE et al., 2001).

Segundo Dechen e Nachtigall (2006) o molibdênio é requerido em pequenas quantidades pelas plantas, sendo as concentrações adequadas para o crescimento das plantas variáveis entre 0,6 e 10 mg kg^{-1} . Segundo Yamada e Lopes (1999) é extraído 1g de molibdênio por tonelada de milho colhido. Valor também relatado por Fancelli e Dourado Neto (2000) que indicam que para uma produção de 9 t ha de grãos são extraídos 9 g de molibdênio, enquanto que para os demais micronutrientes são extraídos quantidades bem superiores, 2100 g de ferro, 340 g de manganês, 110 g de cobre, 400 g de zinco e 170 g de boro.

Gupta (1997) cita que entre 0,2 e 0,5 mg kg^{-1} de molibdênio nas folhas completamente expandidas quando o milho encontra-se com 40-60 cm de altura é a quantidade suficiente para a planta se desenvolver. Ainda segundo o mesmo autor, teor de molibdênio considerado crítico para a cultura é de 0,2 mg kg^{-1} de matéria seca no terço médio da primeira folha oposta e abaixo da espiga, folha diagnose, e que menos que 0,1 mg kg^{-1} a planta encontra-se deficiente. No caule a deficiência situa-se entre 0,013 e 0,11 mg kg^{-1} de molibdênio.

A concentração tóxica de molibdênio em plantas diferem de acordo com a cultura. Geralmente, plantas pertencentes ao grupo das dicotiledôneas são menos

tolerantes ao excesso de molibdênio que plantas do grupo das monocotiledôneas (KLUGE, 1983, apud GUPTA, 1997).

Gupta (1997) relata que concentrações nos tecidos das plantas acima de 500 mg kg^{-1} de molibdênio podem ser consideradas um indicativo de toxicidade para a maioria das plantas, as quais podem ocasionar má formação das folhas, descoloração amarelodourada dos tecidos da parte aérea (MARSCHNER, 1995), e inibição do crescimento do sistema radicular e parte aérea (KEVRESAN, 2001).

Contudo, Leite et al. (2002) verificaram que o rendimento de grãos de feijão não foi significativamente reduzido por doses de até 2.560 g ha^{-1} de molibdênio, sendo estas doses aplicadas de forma parcelada e via foliar; apesar de Marschner (1995) afirmar que a absorção de quantidades elevadas desse nutriente pode reduzir o rendimento de grãos.

Em milho toxicidade de molibdênio tem sido induzida no laboratório, mas, não tem sido observada em condições de campo (ADRIANO, 1986; GUPTA e LIPSETT, 1981).

Apesar do aparecimento de sintomas de toxidez em plantas ser muito raro, a toxidez por molibdênio causada em animais pela alimentação com forragens é bem conhecida (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). Existe uma margem muito estreita entre a deficiência para plantas e a toxicidade para ruminantes (NEUNHÄUSERER, 2001, apud HAMLIN, 2007). Concentrações acima de 10 mg kg^{-1} em culturas forrageiras podem causar uma desordem nutricional chamada molibdenosis em animais ruminantes (MARSCHNER, 1995). Essa desordem consiste em uma deficiência de cobre induzida pelo molibdênio, que ocorre quando o molibdato consumido reage no rúmen com enxofre e forma o complexo tiomolibdato, o qual inibe o metabolismo do cobre (STARK e REDENTE, 1990). Por outro lado, Ortalani (2003) afirma que a frequência de intoxicação em ovinos causada pelo acúmulo de cobre no rúmen tem aumentado no decorrer das últimas décadas no Brasil. Assim, tem sido estudado o fornecimento de sal contendo molibdênio para ovinos com o intuito de minimizar esse problema.

A deficiência em molibdênio afeta o metabolismo das plantas em diferentes níveis (KAISER et al., 2005). As plantas com deficiência de molibdênio mostram aumento de compostos solúveis de N, tais como amidas, e na atividade da ribonuclease, enquanto a concentração de proteínas diminui, indicando envolvimento deste micronutriente

na síntese de proteínas (KIRKBY e RÖMHELD, 2007; LOPEZ et al., 1996). Ferreira et al. (2001) demonstraram que a adubação molibídica aumentou em 3% o teor de proteínas dos grãos de milho e, segundo Marschner (1995), essa influência positiva do molibdênio sobre o teor de proteína pode ser atribuída à sua atuação no metabolismo do nitrogênio, através do aumento da atividade da redutase do nitrato.

Este papel na síntese de proteínas pode ser responsável pelo efeito deletério do molibdênio sobre a concentração de clorofila, a estrutura do cloroplasto e o crescimento (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

No milho, a deficiência de molibdênio encurta os internós, reduz a área foliar e causa o desenvolvimento de clorose nas folhas (AGARWALA et al., 1978).

Em várias culturas, a deficiência de molibdênio afeta mais a fase reprodutiva do que o crescimento vegetativo (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Em milho, as proteínas, cuja síntese o molibdênio participa, atuam na formação do grão de pólen (LOPEZ et al., 1996). Em plantas de milho apresentando deficiência de molibdênio, o estágio de pendoamento é atrasado, uma grande proporção de flores não se abre e a formação de pólen, tanto em termos de tamanho do grão quanto de viabilidade, é grandemente reduzida (AGARWALA et al., 1979).

Em experimentos em casa de vegetação no Zimbábue, Tanner (1976) concluiu que, para alguns solos do país, a deficiência do molibdênio é o principal fator limitante no desenvolvimento do milho. Segundo Marschner (1995), a deficiência de molibdênio é freqüentemente observada em milho desenvolvido em solos minerais com grande quantidade de óxidos hidratados de ferro reativos e, portanto, com alta capacidade para adsorver íons molibdato.

Na literatura brasileira, há poucos trabalhos relativos à aplicação do molibdênio na cultura do milho e, na maioria deles, não foi verificada melhoria do crescimento ou da produção de grãos. Trabalhos conduzidos no Brasil por Galvão e Mesquita Filho (1981) e Galvão (1984), envolvendo aplicação de molibdênio na cultura do milho, não apresentaram respostas a este micronutriente quanto à produção de grãos.

Entretanto, Araújo et al. (1996) e Coelho (1997), obtiveram incrementos de produtividade de grãos de milho de 14,3% e 40%, respectivamente, com a adubação molibídica.

Enzimas contendo molibdênio também estão envolvidas na síntese do fitormônio ácido abscísico (KAISER et al, 2005). A molibdoenzima (Mo-enzimas) que participa dessa reação é a aldeído oxidase (HAMLIN, 2007).

O principal papel do ácido abscísico é controlar o início e a manutenção da dormência de sementes e de gemas e as respostas do vegetal ao estresse, em particular ao estresse hídrico. Baixos níveis de ABA resultam em plantas debilitadas devido a excessiva transpiração e perda do controle estomático, respostas de defesa danificadas (MENDEL e HAENSCH, 2002).

A biosíntese do ABA ocorre nos cloroplastos e outros plastídeos. Nas plantas superiores, o ABA é sintetizado pela via dos terpenóides (TAIZ e ZEIGER, 2004). Na fase final da biossíntese do ácido abscísico o xantoxal é convertido a ABA, por meio de etapas oxidativas, envolvendo o intermediário ABA-aldeído. Essa etapa final é catalisada por um cofator molibdênio (MENDEL e HAENSCH, 2002). Plantas mutantes que não apresentam um cofator molibdênio são incapazes de sintetizar ABA (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Na cultura do milho, mutantes que possuem níveis reduzidos de ácido abscísico apresentam viviparidade, ou seja, germinação precoce do fruto enquanto ainda ligado à planta. A viviparidade é uma característica de muitas sementes ABA-deficientes (TAIZ e ZEIGER, 2004).

4.1.1 Atividade enzimática

As respostas à adubação molibídica estão relacionadas ao requerimento de molibdênio por vários tipos de molibdoenzimas (Mo-enzimas) presentes nas plantas. Essas Mo-enzimas podem estar envolvidas na redução e assimilação do nitrogênio (nitrato redutase, NR), fixação do nitrogênio (nitrogenase), catabolismo de purinas (xanthine dehydrogenase/oxidase), síntese de ácido abscísico, ABA, e ácido indol-3 acético (aldeído oxidase, AO) e metabolismo do enxofre (sulfite oxidase, SO) (KAISER et al., 2005). Destas as que são de maior relevância para plantas são a nitrato redutase e a nitrogenase (HAMLIN, 2007).

A despeito da importância do molibdênio para organismos fixadores de N_2 e para o ciclo do nitrogênio, a essencialidade do molibdênio para as plantas não é baseada

na sua função de fixação do N_2 . A condição que contraria o critério de essencialidade (ARNON e STOUT, 1939) é que muitas plantas não tem capacidade para fixar N_2 atmosférico e, portanto, não requerem molibdênio para a atividade da nitrogenase. Em adição, o processo de fixação de N_2 não é essencial para o crescimento de leguminosas se níveis suficientes de fertilizantes nitrogenados forem aplicados (MISHRA et al., 1999; GEORGE et al., 1992). Entretanto, o requerimento de molibdênio para atividade da nitrogenase nos nódulos das raízes é maior que o requerimento de molibdênio para a atividade da nitrato redutase nos tecidos vegetais (PARKER e HARRIS, 1977, apud HAMLIN, 2007) . Contudo, devido o nitrato ser a principal forma do nitrogênio absorvida pelas raízes (MENGEL e KIRKBY, 1987), a função do molibdênio como um componente funcional da nitrato redutase tem mais importância na nutrição de plantas do que sua função na fixação do N_2 (HAMLIN, 2007).

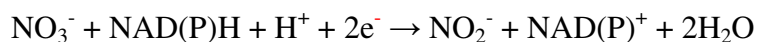
4.1.1.1 Nitrato redutase

A essencialidade do molibdênio como um nutriente de plantas é baseada em sua função na redução no processo de redução do NO_3^- via nitrato redutase (HAMLIN, 2007); e essa é a principal proteína contendo molibdênio encontrada nos tecidos vegetativos (HEWITT, 1983).

Em condições de deficiência de molibdênio, a atividade da nitrato redutase é muito reduzida (MARSCHNER, 1995; SRIVASTAVA, 1997). Pessoa et al. (2001) verificaram aumento da atividade da nitrato redutase em folhas de feijão com aplicação de molibdênio, em todo ciclo da cultura. Coelho et al. (1998), em trabalho que avaliou a atividade da redutase do nitrato em plantas de feijão e milho também notou incremento na atividade dessa enzima nas duas culturas. Esses autores constataram que a aplicação foliar de molibdênio no milho resultou em atividade da nitrato redutase 7% e 36% maiores aos 50 e 70 dias após a germinação, respectivamente.

Assim, deficiências desse micronutriente são primeiramente associadas com vários processos relacionados com o metabolismo do nitrogênio (RÖMHELD, 2001). Na maioria das espécies de plantas, a perda da atividade da nitrato redutase está associada com o aumento da concentração de nitrato nos tecidos e redução do crescimento e produtividade das culturas (SPENCER e WOOD, 1954; AGARWALA et al., 1978; UNKLES et al., 2004).

A primeira etapa do processo de assimilação do nitrato é a redução do nitrato em nitrito no citoplasma (OAKS, 1994), conforme a seguinte reação:



As nitrato redutases das plantas superiores são formadas por duas subunidades idênticas com três grupos prostéticos cada: FAD (flavina adenina dinucluetídeo), heme e um complexo formado entre o molibdênio e uma molécula orgânica denominada pterina (MENDEL e STALLMEYER, 1995; CAMPBELL, 1999).

O domínio de ligação do FAD aceita dois elétrons do NADH ou do NADPH. A forma mais comum da enzima nitrato redutase utiliza somente o NADH como doador de elétrons; outra forma da enzima, encontrada predominantemente em tecidos não-clorofilados, como raízes, pode usar tanto o NADH quanto o NADPH (WARNER e KLEINHOF, 1992). Os elétrons são deslocados pelo domínio heme para o complexo molibdênio, onde são transferidos para o nitrato (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Segundo, Kirkby e Römhild (2007) as plantas supridas com N-NH_4^+ apresentam requerimento de molibdênio muito mais baixo do que aquelas supridas com NO_3^- e os sintomas de deficiência de molibdênio são menos severos ou até mesmo ausentes em comparação com plantas que receberam este último. Entretanto, Machado et al. (2001), avaliando a atividade da NR em variedades de milho, utilizando duas formas de fonte de nitrogênio, puderam concluir que a atividade da NR foi maior nas proporções de N (75% NO_3^- ; 25% NH_4^+) e (50% NO_3^- ; 50% NH_4^+).

4.1.2 Molibdênio na semente

A reserva de nutrientes na semente é expressa pelos teores encontrados nas partes constituintes da semente. Esse valor varia entre espécies, cultivares e depende das condições do ambiente em que a semente é produzida (CARVALHO e NAKAGAWA, 1988). O molibdênio é um dos poucos nutrientes em que a reserva interna da semente pode ser suficiente para que a planta originada desta possa crescer sem dependência externa.

A obtenção de sementes com essa característica é possível, uma vez que o molibdênio é translocado para esse órgão em quantidades correspondentes a sua concentração no tecido (JACOB NETO e FRANCO, 1986). De acordo com Ferreira et al.

(2003), a concentração do elemento na planta aumenta com a dose aplicada e que existe grande capacidade de translocação do nutriente das folhas para as sementes.

Segundo Vidor e Peres (1988) a demanda de molibdênio pela planta de milho por, no mínimo, uma geração pode ser suprida por reservas desse micronutriente na semente acima de $0,5 \text{ ug semente}^{-1}$, que equivale a $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$, sem prejuízos à produtividade. Pesquisas realizadas com várias espécies mostraram que a matéria seca das plântulas e a produção da planta subsequente podem ser incrementadas pelo aumento dos níveis de nutrientes da semente (TRIGO et al., 1997).

Entretanto, as condições químicas predominantes dos solos brasileiros propiciam a produção de sementes quase sempre com baixo teor de molibdênio (BATAGLIA et al., 1975; HOROWITZ, 1978; FRANCO et al., 1978, JACOB-NETO, 1985). Em levantamento realizado por Jacobson et al. (1996), com plantas de soja crescidas em diferentes condições de campo, foram encontradas sementes com baixos teores de molibdênio, implicando que as plantas originadas dessas sementes não teriam auto-suficiência nesse micronutriente. Os resultados obtidos revelam a necessidade do uso de doses elevadas para que possa atingir tal finalidade. Após experimentos realizados em diversos locais, com diferentes doses de molibdato de sódio, Campo e Hungria (2002), recomendam que o enriquecimento de sementes de soja seja feito com a aplicação de 800 gramas de molibdênio por hectare em duas pulverizações foliares, de 400 gramas cada, entre os estágios de crescimento R3 e R5, espaçadas, no mínimo, de 10 dias.

O aparecimento de sintomas de deficiência nutricional de molibdênio e o crescimento de plântulas de milho são afetados pelo conteúdo deste micronutriente na semente, conforme dados obtidos por Weir e Hudson (1966). De acordo com os trabalhos destes autores, níveis de molibdênio acima de $0,08 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca, não provocaram sintomas de deficiência nas plântulas de milho; teores de molibdênio abaixo de $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca foram os que provocaram os sintomas mais severos; enquanto valores de $0,03$ a $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ de molibdênio, apresentaram sintomas de leves a médios nas plântulas de milho. Entretanto, Ferreira et al. (2003), ao avaliar a nutrição e produtividade do feijoeiro em função do molibdênio, verificou que o teor de molibdênio nas sementes não influenciou a quantidade deste nutriente de reserva nas sementes produzidas, na geração seguinte.

A ação mais pronunciada do molibdênio na cultura do milho talvez esteja na qualidade fisiológica da semente, com reflexos praticamente em todas as fases de desenvolvimento da cultura. Peterson e Puvis (1962), apud Tanner (1979), mostram decréscimos significativos na germinação de sementes deficientes em molibdênio, acarretando menor população de plantas.

Existem ainda poucos estudos relacionando em que forma o molibdênio está armazenado na semente (JACOB NETO e ROSSETTO, 1998).

4.1.3 Determinação de molibdênio na planta - sementes e folhas

A análise de molibdênio em tecidos vegetais pode ser feita tanto pela digestão por via úmida, nítrico-perclórica, quanto por via seca, calcinação (FONTES, ABREU e ABREU, 2001). Ambos apresentam resultados similares (GUPTA e LIPSETT, 1981). Segundo Miller (1998) o método de extração por via seca é frequentemente mais utilizado devido ao risco potencial envolvido com o uso de ácido perclórico (HClO_4) para a digestão por via úmida.

Para a determinação de molibdênio em materiais biológicos que contêm pequenas quantidades desse micronutriente podem ser usados os métodos colorimétricos da complexação do molibdênio com tiocianato ou ditiol (GUPTA e LIPSETT, 1981; EIVAZI e SIMS, 1997). Entretanto, esses métodos além de apresentarem baixa precisão na determinação de molibdênio, ainda trazem riscos por utilizarem extratores orgânicos altamente tóxicos para humanos (EIVAZI e SIMS, 1997).

Existem também a alternativa da dosagem de molibdênio em extratos de planta por meio da espectrofotometria de absorção atômica utilizando forno de grafite e a espectroscopia de absorção atômica de chama e de emissão acoplada em plasma induzido (FONTES, ABREU e ABREU, 2001). A detecção de molibdênio pelo espectrofotômetro de emissão atômica acoplada em plasma induzido é menos sensível que para outros elementos, assim, este método dever ser usado somente em tecidos vegetais que tenham concentrações maiores que $1,0 \text{ mg de molibdênio kg}^{-1}$ de matéria seca (SIMS e EIVAZI, 1997; GUPTA, 1998). Esses métodos apresentam desvantagens pelo seu alto custo.

Segundo Dallpai (1996) uma opção promissora é o método catalítico proposto por Yasimirsky e Afaneva (1956). A velocidade de uma reação: $A + B \leftrightarrow X + Y$, pode ser alterada na presença de um catalisador. A catálise homogênea, onde reagentes, produtos e catalisador encontram-se na mesma fase, é a mais frequentemente em métodos cinéticos de análise (YATSIMIRSKY, 1964).

Segundo Eiras (1991) a primeira determinação espectrofotométrica de molibdênio empregando um método catalítico foi apresentada por Yasimirsky e Afaneva (1956). O método proposto foi baseado no fato de que o molibdênio catalisa a oxidação do iodeto pelo peróxido de hidrogênio em meio ácido, havendo a formação de IOH, que modifica a densidade ótica da solução. Assim, soluções de iodeto de potássio, ácido sulfúrico e amido foram colocados em frascos aos quais foram adicionados peróxido de hidrogênio, molibdênio e por fim elevado a volume adequado. Após 3 minutos foram anotadas as absorbâncias a 553 nm, com intervalos de 1 minuto. O limite de detecção foi de $0,10 \text{ mg dm}^{-3}$ e precisão de aproximadamente 10%.

Desde então esse método vem sendo testado e aprimorado por diversos pesquisadores. Fuge (1970) usou o método para determinar a concentração de molibdênio em amostras geológicas e biológicas. Bradfield e Stickland (1975), Quin e Woods (1979), Eivazi, Sims e Crutchfield (1982) e Dallpai (1996) adaptaram o método para determinação em materiais de plantas.

Devido à exigência de controle rigoroso do tempo de reação e à sensibilidade a mínimas mudanças na concentração dos reagentes Fuge (1970) adaptou um sistema automático para determinação do molibdênio espectrofotometricamente, possibilitando assim, a determinação de rotina desse microelemento. Esse autor testou a ação catalítica de íons molibdato na reação entre peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e iodeto de potássio no comprimento de onda de 350 nm. O sistema permitiu a determinação de molibdênio na faixa de $0,2$ a $250 \text{ } \mu\text{g dm}^{-3}$.

Conforme Eivasi et al. (1982), a reação entre o iodeto de potássio e o peróxido de hidrogênio ocorre em meio ácido e quanto mais ácido for o meio maior a velocidade de reação. Desse modo, os valores de absorbância são influenciados pela acidez do meio, sendo, portanto, necessárias condições idênticas de acidez entre a curva-padrão e as

amostras. Segundo esses autores, a acidez correspondente à do HCl 0,125 mol L⁻¹ (pH=0,8) é a recomendada por proporcionar máxima sensibilidade na determinação.

Uma desvantagem apresentada pelo método é a interferência de outros íons, devido a alta concentração iônica nos materiais analisados. Dentre os íons, a maior interferência é causada por Fe³⁺ (FUJE, 1970). Bradfield e Stickland (1975) afirmaram que a interferência do Fe³⁺ pode ser eliminada com a adição de solução de fluoreto de amônio na reação. Outro íon que promove interferência na determinação é o fosfato, segundo Fuje (1970), o método tolerou até 10 mg de fosfato. Quin e Woods (1979) propuseram a adição do H₂O₂ antes da adição do iodeto para prevenir qualquer redução do Fe³⁺ anterior a complexação com o fluoreto e minimizar o efeito do fosfato. Segundo Eivasi e Sims (1997) a adição do fluoreto de amônio reduz também a interferência de vários outros metais pesados que podem catalisar a oxidação do iodeto pelo peróxido de hidrogênio.

Polidoro et al. (2006) avaliando diferentes técnicas para determinação de molibdênio em folhas de cana-de-açúcar, concluíram que tanto o método de determinação por meio de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente quanto pelo método catalítico do iodeto de potássio são apropriados para determinação de molibdênio em folhas de cana, sendo o limite de detecção do iodeto de potássio 4 vezes mais baixo que o espectrofotômetro de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente.

4.2 Molibdênio no solo

A quantidade de molibdênio que ocorre naturalmente no solo depende da concentração desse elemento no material de origem (HAMLIN, 2007). O teor total de molibdênio varia em diferentes tipos de solo. Normalmente os solos contêm entre 0,013 e 17,0 mg kg⁻¹ de molibdênio total (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001). A maior parte dos solos agrícolas contém relativamente baixas quantidades de molibdênio, com uma média de 2,0 mg kg⁻¹ de molibdênio total e 0,2 mg kg⁻¹ de molibdênio disponível (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Solos derivados de granito, rocha calcária, e aqueles com alto teor de matéria orgânica são geralmente ricos em molibdênio (SRIVASTIVA e GUPTA, 1996; WELCH et al. 1991), e o teor de molibdênio disponível geralmente aumenta com a

alcalinidade ou a textura mais fina do solo (SRIVASTIVA e GUPTA, 1996). Em contraste, solos bem drenados de textura grosseira ou solos que altamente intemperizados ou ácidos são freqüentemente deficientes molibdênio (REDDY, MUNN e WANG, 1997; GUPTA, 1997). O acúmulo de molibdênio varia com a profundidade do solo, mas o teor de molibdênio é normalmente mais alto no horizonte A de solos bem drenados e mais alto no subsolo em solo minerais pouco drenados (REDDY, MUNN e WANG, 1997).

O pH do solo é um dos mais importantes fatores que afetam a absorção de molibdênio pelas plantas. A espécie química e disponibilidade de molibdênio na solução do solo é função do pH. Para cada aumento de uma unidade no pH do solo acima de 5,0, a concentração de molibdênio solúvel aumenta 100 vezes (LINDSAY, 1996 apud HAMLIN, 2007). Com o aumento do pH, a quantidade da forma solúvel MoO_4^{2-} em equilíbrio com o solo é muito maior que aquelas de HMoO_4^- e H_2MoO_4 .

A máxima sorção de molibdênio em função do pH tende a ocorrer entre pH 4 e 5 (BIBAK e BORGGAARD, 1994). Segundo Gonzalez et al. (1974); Mikkonen e Tummavuori (1993); Goldberg, Forster e Godfrey (1996) a adsorção de molibdênio aumenta com o aumento do pH da solução de valores de 2 até 4, mostrando um pico em valores de pH entre 4 e 5, e diminuiu com o aumento do pH da solução acima de 5.

Por essa razão, deficiências mais pronunciadas de molibdênio têm sido observadas sob condições de solo ácido (ADAMS, 1990). Nessas condições são esperadas maiores respostas na plantas com a aplicação de molibdênio. Quaggio et al. (2004) avaliando a resposta do amendoim à calagem e ao molibdênio em solo ácido observou um maior ganho de produção quando o molibdênio foi aplicado na ausência de calagem. Da mesma forma, em geral a necessidade de fertilização com molibdênio na maioria dos solos pode ser diminuída com a adequada calagem do solo (SMITH et al., 1997). Pesquisas no Estado do Alabama, EUA, demonstraram que a soja não respondeu ao molibdênio quando o pH foi 5,8-6,5 (ODOM et al., 1980). Porém, Fernandes (1996) trabalhando com doses crescentes de molibdênio na cultura da mamona, em solos com saturação por bases de 50% e 70%, verificou que o aumento da dose de molibdênio aumentou o teor desse nutriente na semente nas duas saturações por bases,

Entretanto, segundo Primavesi (2002) é possível que em solos alcalinos o molibdênio possa ser deficiente. O que ocorre é que elementos de menor

frequência, quando permanentemente disponíveis, são lixiviados pelas águas e absorvidos pelas plantas, favorecendo a ocorrência de sua deficiência (BERGMANN E NEUBERT, 1976, apud PRIMAVESI, 2002). Assim, por exemplo, no Rio Grande do Sul, em pastagens de solos rasos sobre basalto básico com elevado teor de cálcio e magnésio, o molibdênio é carente. A mobilidade permanente do molibdênio possibilitou sua absorção contínua pelas plantas, de modo que, com o pH alto e elevado nível de cálcio e magnésio não se garante a presença de molibdênio (PRIMAVESI, 2002).

Outro importante fator que afeta a disponibilidade do molibdênio no solo é o tipo de minerais de argila. Phelan e Mattigod (1984) indicaram que a caolinita tem uma forte afinidade por molibdênio em pH 7.

A adsorção superficial de molibdênio, predominantemente, ocorre nos óxidos de Al e Fe, minerais de argila e matéria orgânica (GOLDBERG, FORSTER e GODFREY 1996). Theng (1971); Jarrel e Dawson (1978) indicaram importantes funções dos óxidos de ferro e alumínio no solo como agentes sequestradores de molibdênio.

Óxidos de ferro adsorvem mais molibdênio do que óxidos de alumínio (JONES, 1957, apud GOLDBERG, FORSTER, GODFREY, 1996). A adsorção de molibdênio nos óxidos é maior entre o pH 2 e 4, exibindo um pico no pH próximo a 4 e diminuindo com o aumento do pH acima de 4 (JONES, 1957, apud GOLDBERG, FORSTER, GODFREY, 1996; MCKENZIE, 1983). A redução na adsorção com o aumento do pH acima de 4 ocorreu mais rapidamente para os óxidos de alumínio do que para os óxidos de ferro (FERREIRO et al., 1985 apud SMITH, 1997).

Além disso, a absorção de molibdênio pelas raízes pode ser afetada pela interação do molibdênio com outros nutrientes no solo com o fósforo e o enxofre (KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

Em comparação com o MoO_4^{2-} , o fosfato tem uma maior afinidade pelos sítios de sorção no solo, como os sesquióxidos (SMITH et al., 1997). Fertilizantes fosfatados frequentemente liberam molibdênio ligado aos colóides do solo para a solução do solo e aumentam o acúmulo de molibdênio nas plantas (SRIVASTIVA e GUPTA, 1996 e XIE e MACKENZIE, 1991). O fósforo também pode estimular a absorção de molibdênio através da formação de um complexo fosfomolibdato no solo, o qual pode ser prontamente absorvido pelas plantas (BARSHAD, 1951, apud HAMLIN, 2007).

Há ainda, indicações de que em solos ácidos tropicais, a exsudação de carboxilatos induzida por deficiência de P pode aumentar a absorção de molibdênio na rizosfera via dessorção de molibdato (TESFAMARIAM, RÖMHELD e NEUMANN, 2004). O mesmo mecanismo também é responsável pelo aumento da aquisição de molibdênio após fornecimento por breve período de fertilizante fosfatado solúvel em água (KIRKBY e RÖMHELD, 2007). Segundo Stout et al. (1951) apud Dibb, Fixen e Murphy (1990), o fosfato foi efetivo no estímulo da absorção de molibdênio em experimentos com solução ácida de nutrientes.

O molibdato pode também ser absorvido pelo transportador de sulfato da membrana (MENDEL e HÄNSCH, 2002). Até o presente momento, nenhum transportador específico de molibdênio foi identificado geneticamente (STOUT et al., 1951, apud KIRKBY e RÖMHELD, 2007).

Assim, uma forte competição entre a absorção de sulfato e a de molibdato pode intensificar a deficiência de molibdênio em solos ácidos após a aplicação de fertilizantes contendo sulfato (REBAFKA et al., 1993). Stout et al. (1951), citado por Dibb, Fixen e Murphy (1990), relatou que superfosfatos contendo sulfato reduziu a absorção de molibdênio pelas plantas, ao passo que superfosfatos concentrados (sem sulfato) aumentou a aquisição de molibdênio pelas plantas.

4.2.1 Determinação do molibdênio no solo

A determinação do molibdênio no solo, devido às suas características, bem como as quantidades presentes no solo, apresenta grandes dificuldades (FONTES, ABREU e ABREU, 2001). Poucas são as experiências brasileiras com análise de solo para o molibdênio (ABREU, LOPES e RAIJ, 1997).

A dificuldade na análise de molibdênio se inicia na escolha do método de extração. Vários extratores aparecem na literatura estrangeira como opção para avaliar a disponibilidade de molibdênio nos solos, tais como: água, água quente, acetato de amônio solução de Tamm ou oxalato de amônio + ácido oxálico em pH 3,3, ácido oxálico, NH_4F , H_2SO_4 , HCl , Melich-1, resina de troca aniônica $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ e NaHCO_3 -DTPA (SIMS e JOHNSON, 1991; DALLPAI, 1996; SIMS e EIVAZI, 1997).

O método de extração com solução ácida de oxalato de amônio, proposto inicialmente por Grigg (1953) e citado como o mais usado para extração de molibdênio do solo (SIMS e JOHNSON, 1991), foi usado por Horowitz (1978) para determinar o molibdênio disponível em solos do Estado de Pernambuco, entretanto, segundo Fontes, Abreu e Abreu (2001) a denominação disponível pode não estar refletindo o que o termo significa. Catani, Alcarde e Furlani (1970) avaliaram a extração de molibdênio pelas soluções de ácido sulfúrico, ácido fluorídrico em ácido sulfúrico, ácido oxalato, oxalato de amônio, em três amostras de solos do Estado de São Paulo. Os referidos autores sugeriram que a solução de ácido fluorídrico em ácido sulfúrico (H_2SO_4 0,05 mol L⁻¹ + NH_4F 0,03 mol L⁻¹) fosse utilizada em análise de rotina para extração de molibdênio solúvel do solo.

Dallpai (1996) avaliou os teores de molibdênio em 16 tipos de solo do Estado de Minas Gerais, extraído com Melich-1 (0,121-1,538 mg dm⁻³), resina de troca aniônica (0,052-0,256 mg dm⁻³), HCl 0,125 mol L⁻¹ (0,00-0,168 mg dm⁻³), HCl 2,0 mol L⁻¹ (0,140-1,383 mg dm⁻³) e Bray 2 (0,021-0,145 mg dm⁻³). Para Fontes, Abreu e Abreu (2001) essas amplitudes de variação nos teores de molibdênio exemplificam a diversidade de resultados em função da capacidade extratora das soluções. Dallpai (1996) ainda verificou que os teores de molibdênio determinados com todos os extratores correlacionaram-se com o teor de argila e com a capacidade de adsorção de MoO_4^{2-} .

A extração com resina tem mostrado algumas vantagens, tendo potencial para ser utilizada em método de análise para molibdênio no solo (SIMS e JOHNSON, 1991). Segundo Sims e Eivazi (1997), teores de molibdênio do solo obtidos pela extração com resina de troca iônica correlacionam-se significativamente com o molibdênio absorvido pela planta. Devido à sua seletividade e menor sensibilidade à capacidade tampão do solo, a resina trocadora de ânions pode extrair quantidades de molibdênio que melhor se correlacionaram com o molibdênio disponível do solo (DALLPAI, 1996). Contudo, segundo Fontes, Abreu e Abreu (2001), essa baixa sensibilidade pode significar menores correlações entre a produção das culturas e o molibdênio disponível, em função do tipo de solo e das características relacionadas à sua capacidade tampão, aspectos importantes quando se quer fazer predição de doses a serem aplicadas ao solo.

SIMS e EIVAZI (1997) encontraram alta correlação ($r = 0,86$) entre o molibdênio extraído do solo com resina de troca aniônica e os teores de molibdênio em plantas de trevo.

O método de extração com resina descrito por Dallpai (1996), consistiu primeiramente na preparação da resina com solução de bicarbonato de sódio com concentração de 2 Mol L^{-1} durante 2 horas e lavada com água deionizada por 4 horas. Em seguida, para que fosse realizada a extração, adicionou-se $2,5 \text{ cm}^3$ de solo no copo plástico ao qual se adicionou uma esfera de vidro e 50 ml de água deionizada. Agitou-se por 15 minutos. Na sequência foram adicionados $2,5 \text{ cm}^3$ de resina, agitados por 16 horas. Para a separação da resina do solo, esta foi retirada da solução do solo, lavada com água deionizada e colocada em outro recipiente.

Na etapa em que é feita a separação do molibdênio e resina, existem diversos métodos propostos por autores distintos. No trabalho realizado por Dallpai (1996), a resina lavada com água deionizada foi colocada em recipiente contendo 50 mL de solução de ácido clorídrico e carbonato de amônio e agitado por duas horas. Entretanto, na referida metodologia, não foi descrita as concentrações do ácido clorídrico e carbonato de amônio utilizados, nem suas quantidades nas soluções. Sims (1996) propôs adicionar 30 mL de nitrato de sódio 2 Mol L^{-1} para desalojar o molibdênio da resina. Já Ritchie (1988), em trabalho realizado na Austrália, indicou a agitação por 30 minutos da resina contendo molibdênio com a solução ácido nítrico $0,16 \text{ Mol L}^{-1}$ e nitrato de potássio 1 Mol L^{-1} . Sherell (1989), avaliando o molibdênio disponível em solos da Nova Zelândia, utilizou 50 mL de cloreto de sódio 2 Mol L^{-1} e agitou por 2 horas. Essa diversidade de informações indica a necessidade de estudos para avaliar o desempenho dessas soluções em diferentes tipos de solo.

A dosagem de molibdênio no extrato de solo pode ser realizada, da mesma forma realizada nos materiais vegetais, pela reação entre o iodeto de potássio (KI) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), catalisada por íons MoO_4^{2-} , que produz iodo molecular (I_2) e, em reação com amido, modifica a densidade ótica do meio (YATSIMIRSKY, 1964; FUGE, 1970; EIVAZI et al., 1982). A velocidade de formação do I_2 é função da concentração do catalisador quando o tempo da reação é mantido constante; assim, acompanhando-se as modificações da densidade ótica causadas pela reação iodo-amido, pode-se medir a velocidade

da reação (YATSIMIRSKY, 1964). Fazendo esse acompanhamento pode-se determinar o teor de molibdênio em função de seu efeito catalítico na reação $KI + H_2O_2$.

Do mesmo modo que a análise em material vegetal, os valores de absorbância são influenciados pela acidez do meio, sendo, portanto, necessárias condições idênticas de acidez entre a curva-padrão e as amostras. Segundo Eivasi et al. (1982), a acidez correspondente à do HCl $0,125 \text{ Mol L}^{-1}$ é a recomendada por proporcionar máxima sensibilidade na determinação. Entretanto, para o preparo da curva-padrão, não há informações na literatura, se esta deverá ser obtida pela diluição das doses de molibdênio na solução HCl $0,125 \text{ mol L}^{-1}$ ou na própria solução ácida utilizada para a eluviação do molibdênio na resina.

As leituras no comprimento de onda de 350 nm , o tempo de reação de 10 minutos. A faixa de concentrações entre $0,0$ a $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ de molibdênio para preparo da curva-padrão, são indicados por Dallpai (1996) como os melhores ajustes para a dosagem em solos utilizando-se do método da reação $KI + H_2O_2$.

4.3 Formas de aplicação de molibdênio

O molibdênio utilizado pelas plantas pode ser originado do próprio solo ou resultante da aplicação de produtos químicos e, ou, orgânicos que o contenham em sua composição.

Diversas fontes de molibdênio podem ser usadas para prevenir ou minimizar deficiências desse micronutriente nas plantas. Geralmente, as fontes de micronutrientes variam de modo considerável na sua forma física, reatividade química, custo, teor do nutriente e eficiência agronômica. Em geral as fontes de micronutrientes são agrupadas em fontes inorgânicas, quelatos sintéticos, complexos orgânicos e óxidos silicatados (“fritas”).

Albino e Campo (2001) destacam que nos estudos científicos, destacam-se como principais fontes de molibdênio o molibdato de sódio, molibdato de amônio, ácido molibdico e trióxido de Mo .

O fornecimento do fertilizante molíbdico às plantas tem sido feito de três formas principais: aplicação direta no solo, aplicação foliar e aplicação direta na semente.

4.3.1 Aplicação via semente

O tratamento de sementes com micronutrientes tem como princípio, para a sua eficiência, a translocação desses micronutrientes aplicados na semente para a futura planta (Cheng, 1985).

A uniformidade de distribuição de pequenas doses que pode ser aplicada com precisão é uma das grandes vantagens desse método de aplicação (MORTVEDT, 1997). Essa é uma tecnologia de comprovada eficiência na aplicação de molibdênio e também de Co em leguminosas, com vista à fixação simbiótica de nitrogênio. Em soja, por exemplo, a recomendação atual de aplicação do molibdênio é via sementes antes da aplicação do *Bradyrhizobium* (FERREIRA et al., 2001).

Esse método garante uma maior uniformidade de aplicação no campo e a quantidade de molibdênio que pode ser aplicado nas sementes é suficiente prover a exigência para o crescimento da cultura (MORTVEDT, 1997).

As doses recomendadas para o tratamento de sementes varia de 7 a 100 g molibdênio ha⁻¹ (MARSCHNER, 1995; SRIVASTIVA e GUPTA, 1996). Dose elevadas podem ser tóxicas para as sementes.

Além da toxicidade, sabe-se também, que concentrações altas de sais próximas à semente podem prejudicar a emergência das plântulas, como observaram Pessoa, Luchese e Luchese (2000).

Um método mais prático de aplicar molibdênio sem causar maiores danos, seria utilização das próprias reservas da semente, desde que esta possua concentração adequada do elemento (GURLEY E GIDDENS, 1969). Segundo Campo e Hungria (2002) o uso de sementes enriquecidas de molibdênio é um método alternativo que têm apresentado resultados consistentes no aumento da eficiência na fixação biológica do nitrogênio e dos rendimentos da soja.

A reserva de nutrientes na semente é expressa pelos teores encontrados nas partes constituintes da semente. Esse valor varia entre espécies, cultivares e depende das condições do ambiente em que a semente é produzida (CARVALHO e NAKAGAWA, 1988).

Em alguns casos, especialmente para os micronutrientes, a reserva interna da semente é suficiente para que a planta originada desta possa crescer sem dependência externa.

Avila et al. (2005) estudando o efeito do tratamento de sementes de milho com molibdênio na qualidade fisiológica das sementes produzidas, concluíram que não houve incremento na produtividade e no peso de mil sementes, porém ocorreu aumento na germinação e no potencial fisiológico das sementes colhidas, variável em função do híbrido testado. Ao estudar o efeito de molibdênio e cobalto via semente e aplicação foliar, sobre a nodulação, produção e qualidade fisiológica das sementes produzidas de amendoim, Vazquez et al. (2005) concluíram que o uso do elemento não interferiu na qualidade fisiológica das sementes produzidas, ocorrendo apenas efeito do inoculante sobre a produtividade.

Apesar da comprovada eficiência desse método de aplicação, assim como ocorre com o fornecimento via solo, a aplicação direta na semente poderá ter sua eficiência comprometida pelo processo de imobilização pela matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio, o que resultaria na redução da disponibilidade do molibdênio para as plantas (GUERRA et al., 2006). Porém, em solos ácidos da África, Tanner e Grant (1977) registraram efeito positivo da aplicação desse micronutriente, em tratamento das sementes, sobre a produção do milho.

4.3.2 Aplicação foliar

Assim como as raízes, as folhas das plantas têm capacidade de absorver os nutrientes depositados na forma de solução em sua superfície. Essa capacidade originou a prática da adubação foliar, em que soluções contendo molibdênio são aspergidas sobre a parte aérea das plantas, atingindo principalmente as folhas.

O molibdato de sódio é a fonte mais comumente usada para fertilização foliar devido sua alta solubilização em água (HAMLIN, 2005). Aplicação foliar de molibdênio é mais efetiva quando realizada nos estádio iniciais de desenvolvimento da planta (SRIVASTIVA e GUPTA, 1996). Araújo et al. (1996) verificaram que a melhor época de aplicação por via foliar desse micronutriente no milho foi aos 15 dias após a semeadura. Lana et al. (2007) verificaram que os tratamentos cobalto e molibdênio via foliar (120 mL ha^{-1}), aplicado quando as plantas de milho apresentavam 4-6 folhas apresentaram os melhores

resultados, tanto na produtividade quanto na massa de mil grãos, em relação aos demais tratamentos.

Srivastava e Gupta (1996) relata que a dose recomendada de molibdênio é de menos de 200 g ha⁻¹. Segundo Pereira (1999) o aumento máximo da produção de grãos (6,7%), em relação aos tratamentos sem molibdênio, foi alcançado com a dose de 111 g ha⁻¹ de molibdênio. Resultados mais expressivos com a adubação molíbdica foram obtidos por Araújo et al. (1996), que obtiveram incremento de 14,3% na produção de grãos de milho com a pulverização foliar de 90 g ha⁻¹ de molibdênio. Também Coelho (1997), no município de Coimbra-MG, obteve aumento de 40 % na produção de grãos do milho AG 302A, com a pulverização foliar de 50 g ha⁻¹ de molibdênio.

Teixeira (2006) em trabalho realizado com doses de molibdênio no milho comum e pipoca para encontraram significância pela aplicação de molibdênio para a altura de plantas e o peso de 1000 grãos, no milho comum, atingindo valor máximo com a dose de 420 g ha⁻¹. O teor de molibdênio nas folhas não foram influenciados pela aplicação de molibdênio. Os demais caracteres agrônômicos não foram influenciados pela aplicação de molibdênio no milho comum. Para o milho-pipoca, o teor de molibdênio nas folhas e nos grãos foram influenciados significativamente pela aplicação do micronutriente.

Araujo et al. (2010) verificou aumento do teor de molibdênio nas folhas e nas sementes aumentaram significativamente de forma linear com aplicação do micronutriente via foliar, sendo que as doses de molibdênio estudadas não foram suficientes para atingir o máximo deste micronutriente nas folhas e nas sementes. Aumento e acúmulo de molibdênio nas folhas e sementes também foram verificados por Ferreira (2001) em plantas de feijão.

Araujo et al. (2010) salientaram que mesmo na dose mais elevada (1.600 g ha⁻¹), este micronutriente não se apresentou tóxico às plantas de milho-pipoca, indicando assim que esta cultura pode tolerar doses mais elevadas deste nutriente.

Quando comparado as outras formas de aplicação, a via foliar, se destaca, junto com a via semente, em face da facilidade, do baixo custo e da eficiência de aplicação. Voss e Pöttker (2001) comparando aplicação de molibdênio via semente com aplicação via foliar, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, concluíram que as duas formas foram equivalentes em eficiência. Amara e Nasr (1995) afirmam ter obtido melhores

resultados quando o molibdênio foi aplicado via pulverização foliar. Na cultura do feijoeiro em areia de quartzo com solução nutritiva, Jacob Neto (1985) verificou melhores resultados com a aplicação foliar do molibdênio, comparado com a aplicação no solo, quanto analisou o conteúdo deste elemento na semente produzida.

4.3.3 Aplicação via solo

A aplicação de micronutrientes via solo busca aumentar sua concentração na solução do solo, da qual as raízes absorvem (VOLKWEISS, 1991). É, portanto, necessário que o adubo com molibdênio se solubilize no solo no mínimo em velocidade compatível com a absorção pelas raízes, e que seja aplicado em posição de ser por ela atingido, uma vez que o molibdênio é pouco móvel no solo (LOPES e SOUZA, 2001).

Calcula-se que cerca de 80% da necessidade das plantas por molibdênio pode ser suprida para as raízes por fluxo de massa (HAMLIN, 2007).

Dentre as fontes de molibdênio, uma que é bastante utilizada é o molibdato de sódio dihidratado ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que apresenta uma concentração mínima de molibdênio de 39% (MORTVEDT, 1991).

Como o requerimento de molibdênio pelas plantas é baixo, a quantidade do fertilizante molibdico necessária para o desenvolvimento das culturas é menor do que para a maioria dos outros nutrientes. Doses de 50 a 100g de molibdênio ha^{-1} são geralmente requeridas para fornecimento via solo para as culturas, porém algumas culturas como couve-flor necessitam de mais de 400g ha^{-1} de molibdênio (HAMLIN, 2007). Não existem na literatura estudos de doses de molibdênio via solo para a cultura do milho.

A aplicação uniforme de pequenas quantidades de molibdênio pode ser alcançada, dentre outras formas, através da diluição intencional do micronutriente em material inerte, sendo crucial que haja compatibilidade em granulometria entre o fertilizante contendo o micronutriente e o material utilizado na diluição para evitar segregação no momento da aplicação (LOPES e SOUZA, 2001).

Alguns autores afirmam que o melhor é aplicar o molibdênio no solo, antes do plantio (JOHANNES e GUNARTO, 1987; VARGAS e RAMIREZ, 1989); entretanto, em face da sua imobilização no solo, a sua eficiência seria muito inferior,

requerendo, para isso, quantidades necessárias de molibdênio superiores em dez vezes, para equiparar eficiência com a de outros métodos (ALBINO E CAMPO, 2001).

5 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho consistiu em três etapas, as quais foram compostas por experimentos em casa de vegetação, experimentos em laboratório de sementes e experimentos em laboratório de análise química de solo e planta.

5.1 Experimentos conduzidos na casa de vegetação

5.1.1 Localização da área experimental

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista/UNESP, Campus de Botucatu, apresentando como coordenadas geográficas 22° 51' Latitude S 48° 26' Longitude W e altitude de 815 m.

5.1.2 Descrição do clima

O clima da região, baseado no sistema de classificação internacional de Köppen, foi incluído no tipo Cwa, temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17°C e do mês mais quente superior a 23°C. A temperatura média e umidade relativa do ar na casa de vegetação do período de março a maio de 2008, encontra-se na Figura 1.

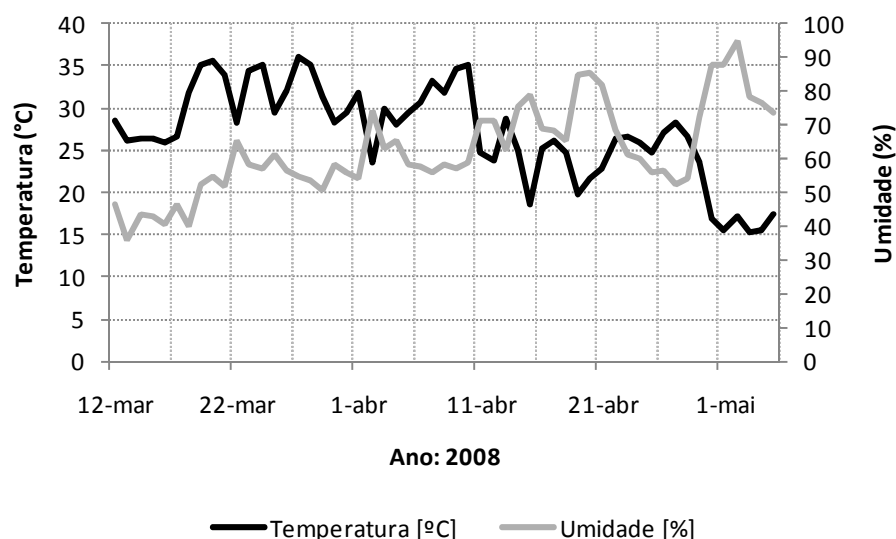


Figura 1. Temperatura média e umidade relativa do ar na casa de vegetação do período de março a maio de 2008. Botucatu (SP), 2010.

5.1.3 Tratamentos e delineamento experimental

Foram conduzidos três experimentos em dois anos.

No primeiro ano de cultivo foram realizados dois experimentos: um com calagem: Experimento I; e outro sem calagem: Experimento II. Em ambos foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, num arranjo fatorial de $2 \times 3 \times 4 + 1$. Os tratamentos consistiram de dois solos (Neossolo Litólico (RL) e Latossolo Roxo álico (LRa)), três formas de aplicação (via folha, via semente e via solo), quatro doses de molibdênio: 25, 100, 400 e 1.600 g ha^{-1} (para a aplicação via folha e via solo) e 5,625; 11,25; 22,5 e $45,0 \text{ g ha}^{-1}$ (para a aplicação via semente), mais uma testemunha absoluta, sem adubação molibídica.

No segundo ano foi conduzido mais um experimento: Experimento III. Nesse, utilizou-se apenas um tipo de solo, o Nitossolo Litólico (RL) com calagem. No qual o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, num arranjo fatorial de $3 \times 4 + 1$, sendo três formas de aplicação (via folha, via semente e via solo), quatro doses de molibdênio (25, 100, 400 e 1.600 g ha^{-1} , para a aplicação via folha e via solo e 5,625; 11,25; 22,5 e $45,0 \text{ g ha}^{-1}$), e uma testemunha absoluta, sem adubação molibídica.

As doses de molibdênio utilizadas nos experimentos em casa de vegetação, aplicadas via folha e via solo, foram escolhidas com base em trabalhos encontrados na literatura como o de Teixeira (2006). Já as doses de molibdênio aplicadas via semente, foram escolhidas levando-se em consideração os resultados de experimentos preliminares de germinação em laboratório e emergência de plântulas em campo, de modo que a maior dose fosse aquela que possibilitasse as plantas emergirem em condições de serem conduzidas ao longo dos experimentos.

É importante ressaltar que os Experimentos II e III foram realizados para atender objetivos específicos da avaliação da eficácia de doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do milho, sendo o Experimento II realizado para verificar o efeito das doses e formas de aplicação de molibdênio na cultura do milho em pH baixo; e o Experimento III para avaliar o efeito doses e formas de aplicação de molibdênio sobre a atividade da enzima nitrato redutase, uma vez que, devido a falta de ajuste na metodologia não foi possível proceder essas análises no Experimento I.

5.1.4 Caracterização do solo

Foram utilizados dois tipos solos com composição granulométrica e atributos químicos contrastantes, como está descrito nas Tabelas 1 e 2.

A análise textural foi realizada de acordo com o método descrito por Embrapa (1997). Para determinação dos atributos químicos, foi utilizado o método descrito pela Raij et al. (2001). As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise Física do solo e no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais / Ciência do Solo, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu.

Tabela 1. Atributos granulométricos dos solos utilizados no experimento. RL - Neossolo Litólico e LRa - Latossolo Roxo álico. Botucatu-SP, 2010.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Argila	Silte
	g kg⁻¹				
RL	80	735	815	162	23
LRa	40	128	169	590	241

Tabela 2. Atributos químicos dos solos utilizados no experimento. RL - Neossolo Litólico e LRa - Latossolo Roxo álico. Botucatu-SP, 2010.

Solo	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				%
RL	4,1	6	6	9	37	1,4	3	2	6	44	15
LRa	4,0	19	6	17	106	1,4	2	1	5	111	5

Solo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			mg dm ⁻³		
RL	0,26	8,3	25	2,0	0,2
LRa	0,18	1,4	22	3,5	0,3

O solo do tipo Latossolo Roxo álico, textura argilosa (CARVALHO, ESPÍNDOLA e PACCOLA, 1983), identificado nesse trabalho pela sigla LRa, foi coletado na Fazenda Experimental Lageado, em área comumente conhecida como túnel, pertencente ao Departamento de Produção e Exploração Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP, no município de Botucatu-SP, cujas coordenadas geográficas são latitude sul 22°51' e longitude oeste 48°26'. Na fração argila desse solo, Carvalho, Espíndola e Paccola (1983) cita que Galhego et al. (1976) encontraram caulinita e gibsita como componentes principais e que Soares (1978) quantificou em 66% o teor de caulinita e 22% o teor de gibsita.

O solo do tipo Neossolo Litólico próximo ao Neossolo Flúvico (solos aluviais), segundo a classificação da EMBRAPA (1999), identificado na presente pesquisa pela sigla RL, foi coletado na Fazenda Experimental Edgardia, em área pertencente ao Departamento de Produção e Exploração Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP, no município de Botucatu-SP, circunscrita pelas coordenadas geográficas 22° 47' 30" a 22° 50' de latitude S, e 48° 26' 15" a 48° 22' 30" de longitude W. A região onde foi coletado o solo na Fazenda Edgardia encontra-se na província geomorfológica depressão periférica, que compreende a área de presença de arenitos (CARVALHO, PANOSO e MORAES, 1991).

5.1.5 Instalação e condução dos experimentos

Os experimentos foram instalados em parcelas experimentais constituídas de vasos de 50 litros de solo. Mediante o resultado da análise de solo, foi

realizada aplicação de calcário, para os experimentos com calagem (Experimentos I e III), visando elevar a saturação por bases para 70%. Após a aplicação do calcário o solo foi umedecido em 50% da sua capacidade máxima de retenção de água por um período de incubação de 40 dias (SANTOS et al., 2010).

Foram semeadas nove sementes por vaso, conduzindo, após o desbaste, três plantas por vaso. Apenas no Experimento I as plantas foram conduzidas até a maturação fisiológica dos grãos, sendo nos Experimentos II e III as plantas conduzidas até o florescimento.

Por ocasião da semeadura foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N, sendo utilizado como fonte o nitrato de amônio. Para o P e K, foram aplicados 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente, tendo como fonte de P o fertilizante superfosfato simples e como fonte de K o cloreto de potássio. Foram aplicados 4 kg ha⁻¹ de Zn através da fonte sulfato de zinco. Os adubos foram colocados em linha ao lado e abaixo de onde foram colocadas as sementes de milho. Na adubação de cobertura foram aplicados 180 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de nitrato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, quando as plantas apresentavam 6 folhas totalmente desdobradas.

Foi mantida a umidade do solo próxima a capacidade de campo, com reposição diária de água.

5.1.6 Aplicação do molibdênio

Para as três formas de aplicação, foi utilizado como fonte de molibdênio, o molibdato de sódio dihidratado, com 39% de molibdênio e com solubilidade em água de 840 g L⁻¹. A aplicação de molibdênio via solo foi realizada no momento da semeadura do milho. Para viabilizar o fornecimento do molibdênio via solo foi efetuada a mistura do molibdato de sódio com areia lavada de granulometria compatível com o fertilizante. Essa mistura foi distribuída em linha ao longo do comprimento de cada vaso.

A aplicação do molibdênio via semente foi efetuada através da mistura com o fungicida líquido de suspensão concentrada carboxina+thiram sobre as sementes. Foram aplicados 300 mL do produto comercial/100kg de sementes, seguindo a recomendação do fabricante (CHEMTURA, 2008). Para a aplicação do fungicida na dose recomendada pelo

fabricante e das doses de molibdênio, primeiramente foram realizadas determinações da massa de mil sementes de cada híbrido, por meio da contagem ao acaso de oito repetições de 100 grãos (BRASIL, 1992), que tiveram suas massas determinadas e ajustadas para 13% de teor de água, possibilitando estimar a massa de 1000 sementes. Em seguida, foram estimadas a massa de sementes de cada híbrido equivalente a 1 hectare (60000 sementes). A partir desses valores foram calculadas a dose do fungicida e as doses de molibdato de sódio.

A aplicação foliar foi realizada aos 15 dias após a emergência, conforme recomendado por Araújo et al. (1996), utilizando pulverizador manual com bico tipo leque, com volume de calda de 200 L ha⁻¹. As doses foram aplicadas da seguinte forma: 0, 25, 100 e 400 g ha⁻¹, aplicadas de uma só vez aos 15 dias após emergência das plântulas; e a dose de 1.600 g ha⁻¹ parcelada em quatro vezes iguais aos 15, 20, 25 e 30 dias após emergência das plântulas.

5.2 Avaliação fitotécnica da cultura do milho

5.2.1 Altura das plantas e inserção de espiga

Para determinação da altura de cada planta foi considerada a distância entre o nível do solo e o ponto de inserção da folha bandeira. Para avaliação da altura de inserção da espiga em cada planta foi considerada a distância entre o nível do solo e a inserção da primeira espiga. Para estas avaliações foram utilizadas réguas de madeira com fitas métricas aderidas. Foram tomadas medidas das de cada parcela (vaso) quando o milho encontrava-se no estágio de florescimento.

5.2.2 Diâmetro do colmo

Para determinação do diâmetro do colmo, foi utilizado paquímetro digital graduado em milímetros. Foram avaliadas as plantas de cada parcela (vaso) no estágio de florescimento do milho. Para medição foi considerado o primeiro entrenó a partir da superfície do solo de cada planta.

5.2.3 Área foliar e índice de área foliar

A determinação da área foliar foi obtida pelo método não destrutivo, através do produto entre o comprimento, a maior largura e um fator de ajuste igual a 0,75 (PEARCE et al., 1975; MACHADO et al., 1982). O índice de área foliar foi obtido pela relação entre a área foliar por vaso e a área do vaso (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000). Foram avaliadas as plantas de cada parcela (vaso) no estágio de florescimento do milho.

5.2.4 Diagnose foliar

Para análise foliar da cultura do milho, foram coletadas o terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluída a nervura central, coletada por ocasião da inflorescência feminina (florescimento), e recomendada para avaliar o estado nutricional desta cultura (MARTINEZ, CARVALHO e SOUZA, 1999). As folhas permaneceram em estufa a 60 °C até peso constante. Em seguida, as folhas secas, foram processadas em moinho, e o material seco e moído foi submetido à análise química para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes de acordo com metodologia descrita por (MALAVOLTA et al., 1997).

5.2.4.1 Análise de molibdênio

Para a análise de molibdênio nos tecidos vegetais folha, caule ou semente a digestão das amostras foram realizadas por via úmida, através da digestão nítrico-perclórica. A dosagem do molibdênio foi efetuada pelo método do iodeto de potássio, adaptado de Pessoa (1998). Para a determinação pipetou-se 3 mL do extrato vegetal, adicionou-se 1,0 mL da solução NH_4F 2,5 g dm^{-3} , 1,0 mL da solução H_2O_2 . Em seguida acrescentou-se 1,0 mL da solução iodeto de potássio, foram cronometrados, rigorosamente, 10 minutos e realizou-se a leitura da absorbância.

No primeiro ano de cultivo as coletas foram realizadas no estágio de florescimento do milho. Já no segundo ano de cultivo as coletas foram realizadas aos 10 e 35

dias após a emergência e no estágio de florescimento do milho, correspondendo a 1°, 2° e 3° coleta, respectivamente.

5.2.5 - Atividade da enzima nitrato redutase

A partir do observado por Köehle et al. (2002), para mensuração da atividade da enzima nitrato redutase foram coletadas as três folhas mais novas e totalmente expandidas em uma planta por parcela. No primeiro ano de cultivo as coletas foram realizadas no estágio de florescimento do milho. Já no segundo ano de cultivo as coletas foram realizadas aos 10 e 35 dias após a emergência e no estágio de florescimento do milho, correspondendo a 1°, 2° e 3° coleta, respectivamente.

As folhas foram embaladas em sacos plásticos e envoltas em papel alumínio, acondicionadas em caixa térmica até o laboratório, onde foram congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer de Ultra-Baixa Temperatura (-80°C). Depois, as amostras foram maceradas em nitrogênio líquido, pesadas e armazenadas em microtubos de centrifugação, na quantidade de 200 mg por amostra.

Uma marcha analítica foi adaptada a partir do método *in vivo* proposto por Jaworski (1971) e das conclusões apresentadas por Köehle et al. (2002), por Aryan (1984), por Roth-Bejerano; Lips (1973) e por Mann et al. (1978), conforme segue. As amostras tecido fresco macerado (200 mg) foram incubadas em tubos de ensaio com 5 mL de solução de incubação composta por tampão fosfato $K_2HPO_4 + KH_2PO_4$ 0,1 Mol L⁻¹ a pH 7,0 contendo 12,5 mMol L⁻¹ de KNO_3 1% propanol e 0,5 mMol L⁻¹ de nicotinamida adenina dinucleotídeo na forma reduzida (NADH; Sigma cat. nº N-6005). Os tubos foram cobertos com tampa de silicone e as amostras foram submetidas a vácuo por três ciclos de um minuto com intervalo de 30 segundos, para permitir a infiltração da solução de incubação na amostra. Após, seguiu-se a incubação das amostras em banho maria a 32°C por 60 minutos, mantendo as amostras no escuro. Com o término da incubação, pipetou-se uma alíquota de 1 mL da solução de incubação e adicionou-se 1 mL de solução de sulfanilamida a 1% e 1 mL de solução de n-naftil a 0,02%, ambas diluídas em solução de HCl a 25%. Após a filtragem em papel filtro qualitativo, procedeu-se a quantificação do produto formado (de cor violeta/púrpura), pela leitura em espectrofotômetro de absorção atômica no comprimento de

onda de 540 nm. A atividade da enzima foi expressa em $\mu\text{mol NO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de matéria fresca.

5.2.6 Massa seca relativa

Inicialmente foi realizada a determinação da massa seca de folhas, caule, sabugo e grãos, foram obtidas dividindo-se as plantas de cada vaso, colocando-se cada parte em sacos de papel que para estufas onde permaneceram a 105 °C até peso constante. O resultado foi obtido através da pesagem dos materiais vegetais secos. A partir da soma da massa seca das partes da planta, foi obtida a massa seca total da planta, calculando-se posteriormente a porcentagem de cada parte, obtendo-se dessa forma a massa seca relativa à massa seca total da planta.

5.3 Análise de química do solo

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar e peneiradas com malha de 2 mm e analisada química e fisicamente. Foi realizada análise química de solo completa de rotina, conforme metodologia proposta por Raij et al (2001).

5.3.1 Análise do molibdênio no solo

A extração do molibdênio do solo foi efetuada através de resina trocadora de íons, preparada conforme descrito no item 5.2.2.3. Após ser agitação por 16 horas a resina foi lavada com água deionizada e transferida para um frasco plástico com capacidade 100 mL e adicionado 20 mL da solução que separa o molibdênio da resina e agitado por mais 2 horas para desalojar o molibdênio da resina.

A determinação do molibdênio foi efetuada pelo método do iodeto de potássio, adaptado de Dallpai (1996). Para a determinação pipetou-se 3 mL do extrato de solo, adicionou-se 1,0 mL da solução NH_4F 2,5 g dm^{-3} , 1,0 mL da solução H_2O_2 . Em seguida acrescentou-se 1,0 mL da solução iodeto de potássio, foram cronometrados, rigorosamente, 10 minutos e realizou-se a leitura da absorbância.

As análises foram realizadas apenas nos tratamentos que o molibdênio foi fornecido via solo.

5.4 Análise estatística

Todos os dados originais foram submetidos à análise de variância a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey.

Os dados referentes às doses de molibdênio foram submetidos à análise de regressão calculada para equações lineares e quadráticas e foram aceitas as equações significativas até 5% de probabilidade pelo teste F, com o maior coeficiente de determinação (R^2).

5.5 Seleção do híbrido utilizado nos experimentos em casa de vegetação

O híbrido utilizado nos experimentos em casa de vegetação foi selecionado a partir de dois critérios: qualidade fisiológica das sementes em função da dose de molibdênio aplicado via semente; e análise do teor de molibdênio contido na semente.

Os experimentos para as avaliações da qualidade fisiológica das sementes de milho foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, da Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu.

Para avaliar a influência das doses de molibdênio na qualidade fisiológica das sementes, foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições para os testes de precocidade de emissão de raízes primárias, primeira contagem, germinação e sementes duras; e 2 repetições para a determinação do teor de água das sementes. Os tratamentos consistiram de cinco híbridos (CO32; 2B587; 2B688; 30F35 e 30K73) e cinco doses de molibdênio aplicadas via semente (0; 7,5; 22,5; 67,5; 202,5 g ha⁻¹ de molibdênio).

A fonte de molibdênio utilizada foi o molibdato de sódio dihidratado (39% de molibdênio). A aplicação do molibdênio via semente foi efetuada através da mistura com o fungicida líquido de suspensão concentrada carboxina+thiram sobre as sementes. Foram aplicados 300 mL do produto comercial/100kg de sementes, seguindo a recomendação do fabricante (CHEMTURA, 2008). Para a aplicação do fungicida na dose recomendada pelo

fabricante e das doses de molibdênio, primeiramente foram realizadas determinações da massa de mil sementes de cada híbrido segundo Brasil (1992), que tiveram suas massas determinadas e ajustadas para 13% de teor de água, possibilitando estimar a massa de 1000 sementes (Tabela 3). Em seguida, foram estimadas a massa de sementes de cada híbrido equivalente a 1 hectare (60000 sementes). A partir desses valores foram calculadas a dose do fungicida e as doses de molibdato de sódio.

O tratamento das sementes foi efetuado em becker de vidro através de movimentos rotativos para possibilitar uma distribuição homogênea do produto, utilizando-se 100 sementes por aplicação.

Tabela 3. Massa de 1000 sementes de cinco híbridos. Botucatu-SP, 2010.

Híbrido	Massa de 1000 sementes g
DOW CO32	285,4
DOW 2B688	326,6
DOW 2B587	319,0
Pioneer 30F35	264,0
Pioneer 30K73	278,4

5.5.1 Testes para caracterização da qualidade fisiológica das sementes

5.5.1.1 Teor de água das sementes (TA)

Antes da aplicação dos tratamentos, o teor de água foi determinado pelo método da estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, utilizando-se duas subamostras de 25 sementes (BRASIL, 1992).

5.5.1.2 Germinação

Foi realizada com oito subamostras de 50 sementes por lote, em rolo de papel toalha (RP), previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato, na temperatura de 30°C no escuro, determinando-se a porcentagem de

plântulas normais, avaliadas no quarto e sétimo dias após a instalação do teste (BRASIL, 1992). Visando a manutenção da umidade do substrato para o teste de germinação conduzido em germinadores de câmara vertical, os de rolos de papel toalha juntamente com as sementes foram acondicionados em sacos plásticos perfurados conforme metodologia desenvolvida por Coimbra et al. (2005).

5.5.1.3 Primeira contagem da germinação

Foram avaliadas as plântulas normais no quarto dia do teste de germinação com resultados expressos em porcentagem (NAKAGAWA, 1999).

5.5.1.4 Precocidade de emissão de raiz primária

Realizado com oito subamostras de 50 sementes, em rolo de papel toalha, previamente umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato, na temperatura de 30°C no escuro. As contagens foram realizadas trinta e duas horas após a instalação do teste, contabilizando-se a porcentagem de sementes que emitiram raiz primária (TOLEDO et al., 1999).

5.5.1.5 Sementes duras

Foram avaliadas as sementes duras no sétimo dia do teste de germinação com resultados expressos em porcentagem (BRASIL, 1992).

5.5.1.6 Teste de tetrazólio

O vigor e viabilidade das sementes duras foram verificados aplicando-se o teste de tetrazólio.

Com o auxílio de uma lâmina, cada semente foi submetida a um corte longitudinal frontal, em sua linha mediana. As sementes foram colocadas em copinhos plásticos, contendo a solução do sal de tetrazólio, na concentração de 0,075%, tendo

permanecido no escuro, em estufa regulada a 35°C, por um período de 3,5 horas. Esse tempo é suficiente para a coloração das células vivas do embrião. A avaliação foi feita classificando-se as sementes em três classes, de acordo com a viabilidade do embrião: 1 - viáveis e vigorosas; 2 - viáveis e não vigorosas; e 3 – não viáveis. Para avaliação do vigor, foram consideradas as sementes pertencentes à classe 1 e, para a viabilidade, somaram-se as classes um e dois, conforme metodologia de Dias e Barros (1995).

5.5.2 Análise estatística

Os dados referentes aos testes para caracterização da qualidade fisiológica das sementes foram submetidos à análise de variância pelo teste F considerando-se o esquema inteiramente causalizado. Se significativo, procedeu-se com teste de média para a variável híbridos, sendo as médias comparadas pelo teste T (LSD) a 5% de significância. Para a variável dose, foram realizadas análise de regressão, calculada para equações lineares e quadráticas. Foram consideradas apenas as equações significativas a 1 (**) e 5 (*) % de probabilidade pelo teste F; quando ambas apresentaram significância, foi feita a opção por aquela com maior coeficiente de determinação (R^2).

Os parâmetros que apresentaram dados em porcentagem com valores nulos foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$, para realização das análises estatísticas (BARBIN, 2003). As médias apresentadas nas tabelas e figuras referem-se aos dados originais.

O cálculo da máxima dose de molibdênio (85% de germinação) suportada pelos híbridos testados foi realizado igualando-se a equação da germinação de cada híbrido a 85 e resolvendo a equação através da fórmula Bháskara.

5.5.3 Teor de molibdênio na semente

A determinação do teor de molibdênio nas sementes foi realizada pelo método do iodeto de potássio, adaptado por Pessoa (1998), utilizando a digestão nítrico-perclórica.

A caracterização do teor de molibdênio nas sementes de híbridos de milho encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4. Teor de molibdênio nas sementes de cinco híbridos de milho. Botucatu-SP, 2010.

Híbrido	Teor de molibdênio
	mg kg ⁻¹
CO32	0,0015
2B587	0,0000
2B688	0,0624
30F35	0,0973
30K73	0,2263

5.6 Experimentos realizados em laboratório relação solo planta

Nessa etapa foram realizados experimentos no laboratório relação solo planta visando aprimorar a etapa de retirada do molibdênio da resina durante o procedimento analítico de determinação de molibdênio na solução do solo, extraído com resina trocadora de íons e determinado pelo método iodeto de potássio. Esse estudo se faz necessário devido a diversidade soluções que retiram o molibdênio retido na resina, como as indicadas por Dallpai (1996), Sims (1996), Ritchie (1988) e Sherell (1989).

No decorrer do presente estudo as soluções que retiram o molibdênio da resina são identificadas no texto, em alguns momentos, pela sigla SRMR.

5.6.1 Preparo das soluções utilizadas nos experimentos

- Solução HCl 2 Mol L⁻¹: mediu-se 165,6 mL de ácido clorídrico p.a. 37% e transferiu-se para um balão volumétrico de 1000 mL contendo aproximadamente 500 mL de água deionizada.
- Solução HCl 0,125 Mol L⁻¹: mediu-se 10,35 mL de ácido clorídrico p.a. 37% e transferiu-se para um balão volumétrico de 1000 mL contendo aproximadamente 500 mL de água deionizada.
- Solução NH₄CO₃ 1 Mol L⁻¹: adicionou-se 79,06 g de carbonato de amônio p.a. (NH₄CO₃) em balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água deionizada.

- d) Solução NH_4CO_3 2 Mol L^{-1} : adicionou-se 158,12 g de carbonato de amônio p.a. (NH_4CO_3) em balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água deionizada.
- e) Solução de NaNO_3 2 Mol L^{-1} : adicionou-se 169,98 g de nitrato de sódio p.a. (NaNO_3) em balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água deionizada.
- f) Solução de KNO_3 1 Mol L^{-1} : adicionou-se 101,10 g de nitrato de sódio p.a. (KNO_3) em balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água deionizada.
- g) Solução de NaCl 2 Mol L^{-1} : adicionou-se 117,0 g de nitrato de sódio p.a. (NaCl) em balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água deionizada.
- h) Solução de iodeto de potássio 2,5 g dm^{-3} : mediu-se 0,5 g de iodeto de potássio (KI) e transferiu-se para balão volumétrico de 200 mL e completou-se com água deionizada.
- i) Solução de H_2O_2 : diluiu-se 0,65 mL H_2O_2 30 V em 1 litro de água deionizada.
- j) Solução de fluoreto de amônio 2,5 g dm^{-3} : foram diluídos 2,5 g de fluoreto de amônio (NH_4F) em 1,0 L mL H_2O_2 30 V em 1 litro de água deionizada de água deionizada.

Segundo Pessoa (1998) a solução de iodeto de potássio deve ser preparada no dia de sua utilização para evitar a oxidação; já as demais soluções podem ficar armazenadas em geladeira por tempo máximo de uma semana. A solução de H_2O_2 deve ser armazenada protegida luz.

5.6.2 Avaliação das soluções que retiram o molibdênio retido na resina trocadora de íons

Como citado anteriormente, existem soluções mistas capazes de promover a remoção do molibdênio adsorvido na resina, assim, esse estudo visou avaliar,

dentre diferentes soluções que retiram o molibdênio da resina, qual melhor representava o teor de molibdênio adicionado ao solo.

Os solos utilizados nesse estudo estão classificados como Neossolo Litólico (RL) e Latossolo Roxo álico (LRa), cujas propriedades físicas e químicas bem como a forma como foram coletados foram descritas no item 5.1.4.

5.6.2.1 Tratamentos e delineamento experimental

Esse experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, cujos tratamentos foram os seguintes:

- três substratos: areia lavada; Neossolo Litólico (RL) e Latossolo Roxo álico (LRa)

- cinco doses de molibdênio: 0; 25; 100; 400 e 1600 kg ha⁻¹, que correspondem a 0,00; 0,0125; 0,05; 0,20 e 0,80 mg dm⁻³, respectivamente.

- cinco soluções que retiram o molibdênio da resina, a saber:

- (NH₄)₂CO₃ 1 Mol L⁻¹ + HCl 2 Mol L⁻¹, adaptado de Dallpai (1996) e identificado no presente estudo como Dallpai 1;

- (NH₄)₂CO₃ 2 Mol L⁻¹ + HCl 2 Mol L⁻¹, adaptado de Dallpai (1996) e identificado no presente estudo como Dallpai 2;

- NaNO₃ 2 Mol L⁻¹ + HCl 2 Mol L⁻¹, adaptado de Sims (1996) e identificado no presente estudo como Sims;

- KNO₃ 1 Mol L⁻¹ + HNO₃ 0,16 Mol L⁻¹, adaptado de Ritchie (1988) e identificado no presente estudo como Ritchie;

- NaCl 2 Mol L⁻¹ + HCl 2 Mol L⁻¹, adaptado de Sherell (1989) e identificado no presente estudo como Sherell.

Obs.: 1- Foram testadas duas variações da solução que retira o molibdênio da resina proposta por Dallpai (1996), por esse motivo identificou-se essas variações no presente estudo como Dallpai 1 e Dallpai 2.

2- O ajuste do pH das soluções foi realizado transferindo a solução salina (NH₄CO₃, NaNO₃, NaCl ou KNO₃) para um becker de vidro de 2000 mL, onde foi adicionado lentamente o ácido, HCl ou HNO₃, nas suas respectivas molaridades,

realizando o monitoramento, com auxílio de medidor de pH de bancada, até atingir o valor de pH desejado, próximo a 0,8, que é aquele indicado por Eivasi et al. (1982), que proporciona a máxima sensibilidade de determinação.

5.6.2.2 Condução do experimento

Após a coleta dos substratos, estes foram secos ao ar e passados em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, procedeu-se a divisão dos substratos em amostras de 1 kg, aplicação das doses de molibdênio, através do molibdato de sódio (39% de molibdênio) e incubação por 7 dias. Após esse período, as amostras foram novamente secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm (10 mesh).

5.6.2.3 Extração do molibdênio do solo

A extração do molibdênio dos substratos foi efetuada através de resina trocadora de íons. A resina foi preparada com solução de bicarbonato de sódio com concentração de 2 Mol L^{-1} durante 2 horas e lavada com água deionizada por 4 horas. Foram adicionados $2,5 \text{ cm}^3$ de solo em recipiente plástico ao qual se adicionou uma esfera de vidro e 20 ml de água deionizada. Agitou-se por 15 minutos e retirou-se a esfera de vidro. Em seguida foram adicionados $2,5 \text{ cm}^3$ de resina, agitados por 16 horas em mesa de agitação de movimento orbital com velocidade de 240 rpm. A resina foi separada da solução do solo e lavada com água deionizada num separador de resina de tela metálica de 0,25 mm (60 mesh).

5.6.2.4 Retirada do molibdênio da resina

A resina lavada com água deionizada foi transferida para um frasco plástico com capacidade 100 mL e adicionado 20 mL da solução que retira o molibdênio da resina, com pH próximo de 0,8. Em seguida foi agitada por duas horas, em mesa de agitação de movimento orbital com velocidade de 240 rpm, sendo filtrado o extrato em outro recipiente plástico.

Verificou-se que após a agitação, o pH do extrato elevou-se, sendo necessário realizar novamente o ajuste do pH para valores próximos a 1,0. Após a aferição do pH o molibdênio foi determinado.

5.6.2.5 Curva-padrão de molibdênio

A partir da solução padrão estoque de molibdênio, 1000 ml dm^{-3} , foram preparadas soluções padrão de 10 e 1 mg dm^{-3} de molibdênio com a solução HCl 0,125 Mol L^{-1} , que tem valor de $\text{pH}=0,8$. Em seguida, utilizando essas soluções foram preparadas as soluções padrão para a curva nas concentrações 0,00; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 mg dm^{-3} de molibdênio, transferindo 0,00; 0,25; 0,50; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00; 20,00 mL da solução 1 mg dm^{-3} e 3,00 e 5,00 mL da solução 10 mg dm^{-3} de molibdênio para balões de 25 mL. Logo após, o volume dos balões foram completados com a solução HCl 0,125 Mol L^{-1} .

O preparo da curva-padrão seguiu o procedimento proposto por Yatsimirsky (1964) e adaptado e modificado por Dallpai (1996) e Eivasi e Sims (1997). Foram pipetados 3,0 mL das soluções padrão e adicionados 1,0 mL da solução NH_4F 2,5 g dm^{-3} , 1,0 mL da solução H_2O_2 . Quando todos os padrões estavam prontos, adicionou-se 1,0 mL da solução KI 2,5 g dm^{-3} , foram cronometrados, rigorosamente, 10 minutos e efetuado a leitura da absorbância em 350 nm.

5.6.2.6 Determinação do molibdênio no extrato do solo

Para a determinação do molibdênio pipetou-se 3 mL dos extrato de solo que foram previamente extraídos com resina e diferentes soluções mistas que retiram o molibdênio da resina, adicionou-se 1,0 mL da solução NH_4F 2,5 g dm^{-3} , 1,0 mL da solução H_2O_2 . Quando todos os padrões estavam prontos, acrescentou-se 1,0 mL da solução iodeto de potássio, foram cronometrados, rigorosamente, 10 minutos e realizou-se a leitura da absorbância como descrito anteriormente (YATSIMIRSKY, 1964; DALLPAI, 1996; EIVASI e SIMS, 1997).

5.6.3 Estudo detalhado da retirada do molibdênio retido na resina trocadora de íons com a solução Sims

A partir dos resultados obtidos na avaliação das soluções que retiram o molibdênio da resina, foram realizados estudos mais detalhados com a solução que retira o molibdênio da resina identificada com solução Sims (NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1}).

5.6.3.1 Avaliação pH da solução Sims

Foram realizadas avaliações para obter o valor de pH da solução NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1} que proporcionasse a maior precisão da curva-padrão.

Para esse estudo seguiu-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos formados por sete valores de pH, correspondentes a 0,5; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2, 1,5 e 1,8; e cinco concentrações de padrão de molibdênio, 0,00; 0,01; 0,05; 0,20 e 0,80 mg dm^{-3} , com quatro repetições.

Seguiu-se o mesmo procedimento para obtenção da curva-padrão descrito acima, diferenciando a solução e os valores de pH da solução.

5.6.3.2 Determinação de molibdênio com a solução Sims

5.6.3.2.1 Condução do experimento

Nessa parte do estudo seguiu-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, num arranjo fatorial $3 \times 2 \times 5$, sendo os tratamentos: três tipos de substrato (areia, Neossolo Litólico (RL) e Latossolo Roxo álico (LRa)), com calagem e sem calagem; e cinco doses de molibdênio: 0; 25; 100; 400 e 1600 g ha^{-1} , correspondentes a 0,00; 0,0125; 0,05; 0,20 e 0,80 mg dm^{-3} , respectivamente.

Cada solo foi dividido em duas partes. Em uma das partes não se procedeu a calagem e na outra foi realizada a correção do solo com calcário dolomítico mineral, garantia comercial mínima de $\text{CaO}=32\%$, $\text{MgO}=18\%$ e $\text{PRNT}=95\%$, segundo a recomendação pelo método saturação por bases, visando alcançar 70% em bases trocáveis. Em seguida foram umedecidas e incubadas por 30 dias (SANTOS et al., 2010).

Após esse período os solos foram secos ao ar, passados em peneira 2mm e divididos em amostras de 1 kg. Em seguida foram adicionadas as doses de molibdênio, utilizando como fonte o molibdato de sódio (39% de molibdênio), deixando então as amostras incubadas por um período de sete dias.

Decorrido esse tempo as amostras foram novamente secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm.

A extração do molibdênio do solo com resina trocadora de íons seguiu a sequência descrita no item 5.6.2.3.

5.6.3.2.2 Retirada do molibdênio retido na resina

A resina lavada com água deionizada foi transferida para um frasco plástico com capacidade 100 mL e adicionado 20 mL da solução Sims (NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1} , adaptado de SIMS, 1996), com pH aproximadamente 1,3. Em seguida foi agitada por duas horas, em mesa de agitação de movimento orbital com velocidade de 240 rpm, sendo filtrado o extrato em outro recipiente plástico.

Após a agitação foi realizado novamente o ajuste do pH para 1,3. Após a aferição do pH, o molibdênio foi determinado.

5.6.3.2.3 Curva-padrão de molibdênio

A partir da solução padrão estoque de molibdênio, 1000 ml dm^{-3} , foram preparadas soluções padrão de 10 e 1 mg dm^{-3} de molibdênio com a solução Sims, pH=1,3. Em seguida, utilizando essas soluções foram preparadas as soluções padrão para a curva nas concentrações 0,00; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 mg dm^{-3} de molibdênio, transferindo 0,00; 0,25; 0,50; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00; 20,00 mL da solução 1 mg dm^{-3} e 3,00 e 5,00 mL da solução 10 mg dm^{-3} de molibdênio para balões de 25 mL. Logo após, o volume dos balões foram completados com a mesma solução Sims.

O preparo da curva-padrão seguiu o procedimento proposto por Yatsimirsky (1964) e adaptado por Dallpai (1996) e descritos anteriormente.

5.6.3.2.4 Determinação do molibdênio no extrato do solo

Para a determinação do molibdênio no solo seguiu-se o procedimento descrito no item 5.6.2.6.

Verificou-se, entretanto, que os extratos adquiriram coloração própria de cada amostra, devido a reações entre as soluções para retirar o molibdênio da resina utilizadas e o solo. Por esse motivo, realizaram-se testes para verificar a influência da coloração adquirida no extrato. Para isso, foram realizadas leituras da absorbância de cada amostra sem a reação com o fluoreto de amônio, peróxido de hidrogênio e iodeto de potássio.

5.6.4 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F considerando-se o esquema de blocos inteiramente causalizados.

Para o experimento em que foram avaliados as diferentes soluções que retiram o molibdênio da resina, quando significativo, procedeu-se com teste de média para as variáveis solo e solução que retira o molibdênio da resina, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Para a variável dose, foram realizadas análise de regressão, calculadas para equações lineares. Foram consideradas apenas as equações significativas a 1 (***) e 5 (*) % de probabilidade pelo teste F.

Para o experimento que avaliou a maior precisão da curva-padrão de molibdênio em diferentes pH da solução NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1} , a análise dos resultados foi efetuada por meio da análise de regressão, calculadas para equações lineares, e teste de médias Tukey dos coeficientes de regressão linear, a 5% de probabilidade.

Para o estudo da retirada do molibdênio da resina com a solução Sims aplicou-se teste de média para as variáveis solo e calagem, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Para a variável dose, foram realizadas análise de regressão, calculadas para equações lineares. Foram consideradas apenas as equações significativas a 1 (***) e 5 (*) % de probabilidade pelo teste F.

Os parâmetros que apresentaram dados com valores nulos foram transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$, para realização das análises estatísticas (BARBIN, 2003), sendo

as médias apresentadas nas tabelas e figuras referentes aos dados originais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Seleção do híbrido para ser utilizado nos experimentos da casa de vegetação

Na Tabela 5 são apresentados os valores de F calculados para as fontes variação e suas interações dos parâmetros teor de água das sementes, precocidade de emissão de raiz primária, primeira contagem, germinação e sementes duras.

Nota-se que o teor de água dos híbridos não apresentou diferenças significativas. Considerando-se que o teor de água inicial é um fator primordial para a padronização das avaliações a serem realizadas posteriormente, esses resultados asseguram a credibilidade dos dados obtidos no trabalho. Recomenda-se que amostras de sementes a serem comparadas não apresentem diferenças maiores que 2% de teor de água, para não comprometerem os resultados devido às diferenças na velocidade de umedecimento das sementes durante o teste (MARCOS FILHO, 1999).

Em todos os parâmetros de qualidade fisiológica avaliados foram observadas significâncias a 1% de probabilidade para as causas de variação híbrido, dose e suas interações. Esse fato demonstra haver diferenças de vigor e poder germinativo entre os híbridos testados. Demonstra também haver influência das doses de molibdênio na qualidade fisiológica das sementes.

Tabela 5. Resumo da análise de variância (valores de F) para as causas de variação: híbrido (H), dose (D) e suas interações (H*D) da variável teor de água das sementes (TA), precocidade de emissão de raízes primárias (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.

Análise de variância	Variável analisada				
	TA	PERP	PC	G	SD
H	2,503 ^{ns}	76,212**	38,438**	14,809**	149,340**
D	-	224,899**	849,862**	389,894**	569,649**
H*D	-	6,832**	9,673**	6,195**	10,519**
CV %	5,1	18,29	12,82	17,52	16,29
Regressão Polinomial					
Reg. linear	-	756,515**	2.139,499**	1.043,617**	2.222,338**
Reg. quadrática	-	138,490**	1.206,047**	501,701**	54,874**

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$). CV % - coeficiente de variação

Os resultados do teste de média dos híbridos para os parâmetros da qualidade fisiológica precocidade de emissão de raízes primárias, primeira contagem, germinação e sementes duras, são apresentados na Tabela 6. O resumo da análise de variância de vigor e viabilidade avaliadas pelo teste do tetrazólio das sementes duras encontra-se na Tabela 7. Na Figura 2 é apresentado o teste de médias do vigor das sementes duras, obtido através do teste do tetrazólio. Os efeitos das doses de molibdênio sobre os parâmetros da qualidade fisiológica são apresentados na Figura 3, onde também pode ser observado o efeito da interação híbrido*dose.

Observa-se, na Tabela 6, que os valores dos testes de vigor precocidade de emissão de raiz primária (PERP) e primeira contagem (PC) foram significativamente diferentes entre os híbridos. Na Tabela 7 também pode ser observada significância a 1% do vigor entre os híbridos, e na Figura 2 são apresentadas essas diferenças. Constata-se que o híbrido CO32 apresentou as maiores médias nos três testes de vigor; e os híbridos 2B587 e 2B688 apresentaram comportamento semelhante em dois dos testes de vigor, primeira contagem e teste de tetrazólio, nos quais não diferenciaram estatisticamente do híbrido CO32 (Tabela 6 e Figura 2).

Segundo Torres (1998), os testes de vigor são importantes, pois apresentam alta correlação com emergência de plântulas em campo, sendo possível, assim, prever o desempenho destas sementes antes da semeadura.

A perda do vigor, também citada como deterioração, é definida, em geral, como toda transformação degenerativa que ocorre nas sementes (ABDUL-BAKI e ANDERSON, 1972). Essas transformações deletérias podem ser de origem bioquímica, física ou fisiológica (WOODSTOCK e GRABE, 1967; CHING e SCHOOLCRAFT, 1968).

Tabela 6. Teste de T da precocidade de emissão de raiz primária (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.

Híbrido	PERP	PC	G	SD
	%			
CO32	59,4 a	44,0 a	46,4 b	13,9 c
2B587	33,0 c	45,4 a	59,6 a	17,4 bc
2B688	50,3 b	47,4 a	52,1 b	16,2 c
30F35	37,7 c	34,9 b	45,8 b	19,4 b
30K73	7,3 d	21,0 c	32,3 c	51,4 a

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste T (LSD).

Tabela 7. Resumo da análise de variância (valores de F) para a causa de variação híbrido (H) da variável vigor e viabilidade avaliadas pelo teste do tetrazólio das sementes duras. Botucatu-SP, 2010.

Análise de variância	Variável analisada	
	Viabilidade	Vigor
H	0,943 ^{ns}	5,326**
CV %	8,16	13,96

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$). CV % - coeficiente de variação

O teste de vigor da primeira contagem, que é realizado para facilitar a condução do teste de germinação, baseia-se no fato da velocidade da germinação ser um dos primeiros parâmetros a ser afetado no processo de deterioração (NAKAGAWA, 1999). Utilizando-se o mesmo princípio, o vigor de um lote de sementes de milho é realizado através da avaliação da precocidade de emissão da raiz primária (SALGADO, 1996; TOLEDO et al., 1999). Esses testes apresentam as vantagens de serem econômicos, práticos e simples. Segundo Toledo (1999), a precocidade de emissão da raiz primária, mostrou-se viável para

estimar o vigor de sementes de milho uma vez que associa a quantidade de sementes que emitem a raiz primária com a velocidade com que este processo ocorre.

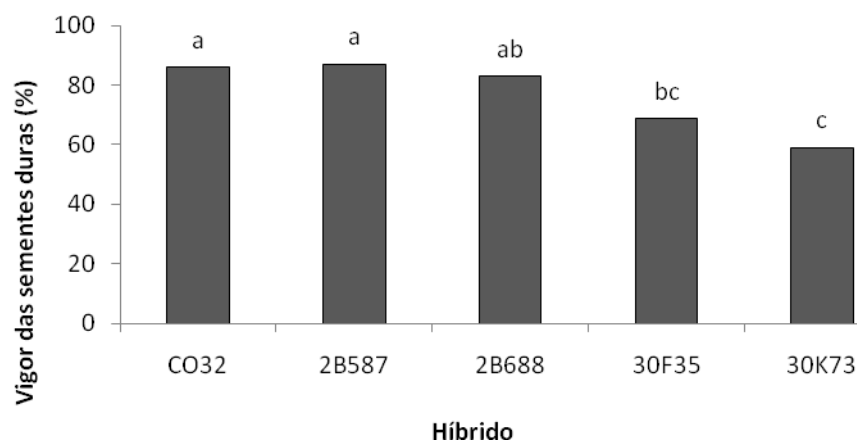


Figura 2. Teste de médias T(LSD) do vigor das sementes duras obtido através do teste do tetrazólio. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste T (LSD).

Para Delouche e Baskin (1973) os eventos que ocorrem durante a deterioração se iniciam com a desorganização e perda do controle da permeabilidade das membranas das sementes, fatos estes que culminam com a queda de germinação e a morte do embrião. Esse fato pôde ser observado na presente pesquisa, onde o híbrido 30K73 obteve as menores médias nos testes de vigor e, conseqüentemente, menor porcentagem de germinação (Tabela 6).

Os valores de porcentagem germinação variaram entre 32,3 e 59,6% (Tabela 6). Vale salientar que os valores apresentados na Tabela 6 para cada híbrido, referem-se a média geral de todas as doses de molibdênio. Por esse motivo, verifica-se que a porcentagem de germinação de todos os híbridos esteve bem abaixo do valor mínimo estipulado pelo Ministério da Agricultura para a comercialização de sementes de milho, que é de 85 % (BRASIL, 2005). Constata-se, nessa mesma Tabela, que o híbrido 2B587 apresentou germinação significativamente superior aos demais híbridos testados. Verifica-se ainda, que a porcentagem de sementes não germinadas até o dia da contagem final (sementes duras) foi superior para o híbrido 30K73.

Pelo resumo da análise de variância da Tabela 7, percebe-se que as sementes duras de todos os híbridos não se diferenciaram estatisticamente em relação a viabilidade pelo teste do tetrazólio.

O teste de tetrazólio reflete a atividade das enzimas desidrogenases, envolvidas no processo de respiração. Pela presença de um sal de tetrazólio, é produzida nas células vivas uma substância vermelha, estável e não difusível. Isto torna possível distinguir as partes vivas, coloridas de vermelho, daquelas mortas que mantêm a sua cor. Segundo Deswal e Chand (1997), este teste tem sido aceito, não somente como uma técnica para estimar a viabilidade, mas também o vigor das sementes.

Na Figura 3, (A); (B); (C) e (D), são apresentadas os resultados da precocidade de emissão de raízes primárias, primeira contagem, germinação e sementes duras em função das doses crescentes de molibdênio. Nota-se que os parâmetros PERP, PC e G foram influenciados negativamente pelas doses crescentes de molibdênio, provavelmente ocasionados por danos causados no embrião da semente devido a altas concentrações de sal na semente. Consequentemente a porcentagem de sementes duras foi aumentada com o aumento da dose de molibdênio.

A fonte de aplicação do molibdênio foi o molibdato de sódio. Tem sido relatado em diversos trabalhos com aplicação de micronutrientes via tratamento de sementes, e observado em condições de campo por agricultores, que altas concentrações de sal próximo a semente diminui e atrasa a germinação, reduzindo o estande de lavoura e conseqüentemente a produtividade (PESSOA, LUCHESE e LUCHESE, 2000; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2002; LUCHESE, GONÇALVES JUNIOR E LUCHESE, 2004). Porém, Ribeiro, Santos e Menezes (1994), testando fontes de zinco e boro na forma de sais e boro da marca comercial Biocrop aplicadas às sementes de milho, na dose recomendada pelo fabricante, não encontraram diferenças entre a testemunha e as sementes tratadas quanto à germinação.

Verificou-se nos resultados obtidos na presente pesquisa que, mesmo sem aplicação de molibdênio, o híbrido 30K73 apresentou valores muito baixos nos testes de vigor, PERP e PC, e de porcentagem de germinação (G), demonstrando problemas de qualidade fisiológica das sementes no lote avaliado desse híbrido. Os demais híbridos apresentaram resultados satisfatórios de vigor e germinação no tratamento sem aplicação de molibdênio, com valores de germinação próximos a 100%.

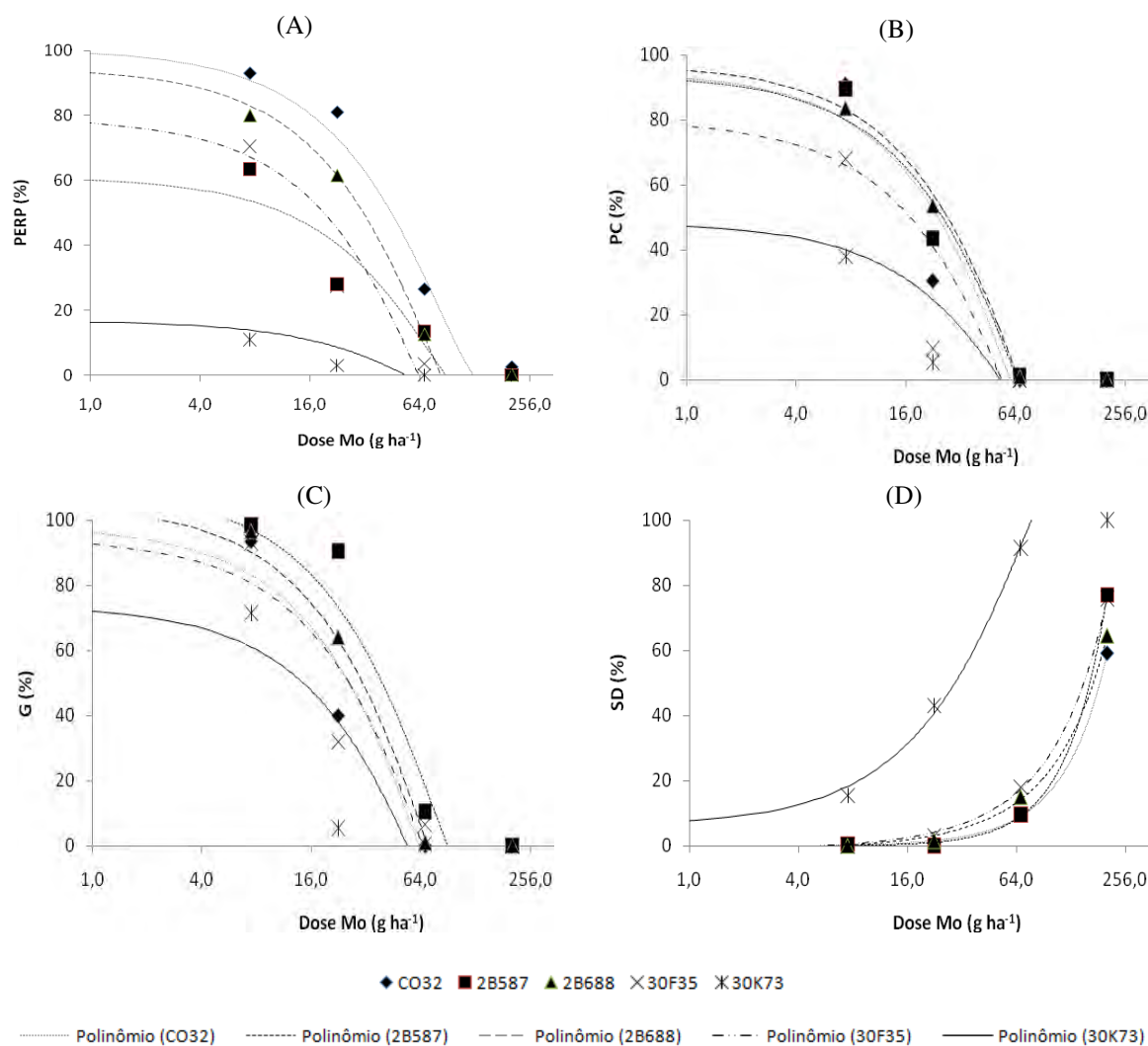


Figura 3. (A)- Precocidade de emissão de raízes primárias (PERP); (B)- primeira contagem (PC); (C)- germinação (G); e (D)- sementes duras (SD), em função de doses crescentes de molibdênio (Mo). Botucatu-SP, 2010.

As equações de regressão e coeficientes de determinação de precocidade de emissão de raízes primárias, primeira contagem, germinação e sementes duras, são apresentadas na Tabela 8.

É possível observar pelos altos valores de coeficiente de determinação, que as equações de regressão obtidas explicaram satisfatoriamente as respostas dos parâmetros de qualidade fisiológica às doses crescentes de molibdênio.

Tabela 8. Equação de regressão e coeficiente de determinação de precocidade de emissão de raízes primárias (PERP), primeira contagem (PC), germinação (G) e sementes duras (SD). Botucatu-SP, 2010.

Equação de regressão	Coeficiente de determinação (R^2)
PERP	
$CO32 = 0,0041x^2 - 1,3159x + 100,54$	0,98**
$2B587 = 0,0034x^2 - 0,9934x + 61,006$	0,92**
$2B688 = 0,0056x^2 - 1,6069x + 94,833$	1,00**
$30F35 = 0,0062x^2 - 1,6534x + 79,282$	0,93**
$30K73 = 0,0016x^2 - 0,3968x + 16,74$	0,78**
PC	
$CO32 = 0,0078x^2 - 2,0547x + 94,881$	0,93**
$2B587 = 0,0071x^2 - 1,8998x + 93,91$	0,97**
$2B688 = 0,0072x^2 - 1,9327x + 97,141$	1,00**
$30F35 = 0,0074x^2 - 1,886x + 79,85$	0,81**
$30K73 = 0,0045x^2 - 1,1549x + 48,403$	0,80**
G	
$CO32 = 0,0078x^2 - 2,0568x + 98,081$	0,96**
$2B587 = 0,006x^2 - 1,7615x + 109,92$	0,95**
$2B688 = 0,0074x^2 - 2,019x + 104,89$	0,99**
$30F35 = 0,0071x^2 - 1,9069x + 94,445$	0,91**
$30K73 = 0,0068x^2 - 1,7307x + 73,63$	0,79**
SD	
$CO32 = 0,0011x^2 + 0,0629x - 0,3733$	1,00**
$2B587 = 0,0018x^2 + 0,0163x - 0,2133$	1,00**
$2B688 = 0,0007x^2 + 0,1797x - 1,1886$	1,00**
$30F35 = 0,0008x^2 + 0,2215x - 1,1733$	1,00**
$30K73 = -0,006x^2 + 1,6808x + 5,979$	1,00**

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Na Tabela 9, são apresentadas as doses máximas de molibdênio, em $g\ ha^{-1}$, aplicado via tratamento de sementes, que os híbridos de milho suportam sem reduzir a germinação abaixo de 85%, que é o valor mínimo estipulado pelo Ministério da Agricultura para a comercialização de sementes de milho (BRASIL, 2005).

Verificou-se nos resultados obtidos que o híbrido 2B587 suportou a maior dose de molibdênio ($14,9\ g\ ha^{-1}$, valor equivalente a $0,73\ g\ kg^{-1}$ de sementes) em relação aos demais híbridos testados.

Pessoa, Luchese e Luchese (2000), avaliando germinação e desenvolvimento inicial de plantas de milho, em resposta ao tratamento de sementes com boro,

encontrou que a dose máxima de boro suportada pelas sementes de milho, sem apresentar atrasos no processo germinativo, foi de $0,04 \text{ g kg}^{-1}$.

Gonçalves Junior et al. (2002) testando a germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plantas de soja em resposta à aplicação de ferro via semente, verificou que a melhor dose esteve entre 0,8 e $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ de semente.

Luchese, Gonçalves Junior e Luchese (2004), em experimento que avaliou a Emergência e absorção de cobre por plantas de milho em resposta ao tratamento de sementes com cobre encontrou que a dose de 5,09 g de cobre por kg de sementes limitou, ao máximo, a capacidade de germinação das sementes.

Vale ressaltar que as doses observadas na Tabela 9 foram obtidas em de testes de germinação no laboratório, tendo sido observado através de testes complementares que em condição de campo as sementes toleram doses maiores do que as apresentadas nessa tabela.

Tabela 9. Dose máxima de molibdênio na forma de molibdato de sódio (85% de germinação), aplicado via tratamento de sementes, suportada por híbridos de milho. Botucatu-SP, 2010.

Híbrido	Dose máxima (85% de germinação)
	g ha^{-1} molibdênio
CO32	6,6
2B587	14,9
2B688	10,3
30F35	5,1
30K73	-

- não foi possível atingir 85% de germinação com o lote testado desse híbrido.

6.2 Experimentos realizados em laboratório relação solo planta

6.2.1 Avaliação das soluções que retiram o molibdênio da resina trocadora de íons

O resumo da análise de variância para o teor de molibdênio na solução do solo encontra-se na Tabela 10.

De acordo com a análise de variância percebe-se que além da fonte de variação repetição, apenas o tipo de solo não foi significativo para o teor de molibdênio. Esse

fato indica que na média geral o teor de molibdênio não apresentou diferenças significativas entre a areia, solo RL e solo LRa.

Nota-se, ainda na Tabela 10, significância para a solução que retira o molibdênio da resina, doses e suas interações.

Tabela 10. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, Solução que retira o molibdênio da resina (SRMR), solo (S), dose (D) e suas interações para a variável teor de molibdênio do solo (mg dm^{-3}). Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada
	mg dm^{-3} molibdênio determinado no solo
Repetição	0,429 ^{ns}
SRMR	36,220**
S	2,227 ^{ns}
D	711,679**
SRMR*S	3,532**
SRMR *D	11,336**
S*D	4,413**
SRMR *S*D	2,135**
CV%	13,23

** Significativo para a análise de regressão a 1% de probabilidade; CV%: coeficiente de variação.

Na Tabela 11, onde é apresentado o desdobramento da interação entre a solução que retira o molibdênio da resina e o solo para o teor de molibdênio, verifica-se que houve diferença entre as soluções que retiram o molibdênio da resina nos três solos, resultando em diferenças na média dos solos. Nota-se que as soluções que retiram o molibdênio da resina que apresentaram os menores teores médios de molibdênio, foi o Dallpai 1 e Sims. Na comparação entre os solos houve diferenças apenas nas soluções Sims e Ritchie, onde ambos retiraram uma quantidade maior de molibdênio analisado na areia.

Tabela 11. Desdobramento da interação solução que retira o molibdênio da resina (SRMR)*solo para o teor médio de molibdênio (mg dm^{-3}) do solo. Botucatu-SP, 2010.

SRMR	Solo			
	Areia	RL	LRa	Média dos solos
	mg dm^{-3} molibdênio determinado no solo			
Dallpai 1	1,1448 Ac	1,5701 Acb	1,4692 Ab	1,3947 c
Dallpai 2	1,9252 Ab	1,8423 Aba	2,0217 Aba	1,9297 b
Sims	2,0085 Ab	1,2729 Bc	1,4588 Bc	1,5801 c
Ritchie	3,123 Aa	2,3766 Ba	2,6131 Ba	2,6971 a
Sherell	2,5011 Aa	2,4640 Aa	2,3500 Aa	2,4384 a

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem estatisticamente a 5% pelo teste de tukey.

Nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 estão apresentadas as curvas de regressão linear para o molibdênio determinado em função do molibdênio aplicado. Percebe-se que com todos as soluções que retiram o molibdênio da resina, os teores de molibdênio determinado foram maiores que as quantidades aplicadas, sendo as soluções que proporcionaram as concentrações mais baixas, por consequência os valores mais próximos da quantidade de molibdênio adicionado ao solo foram Dallpai 1 e Sims. Os teores elevados de molibdênio indicam possíveis interferências na determinação catalítica do molibdênio. Fuge (1970), em estudo sobre a determinação de molibdênio em amostras geológicas e biológicas através da ação catalítica dos íons molibdatos na reação entre peróxido de hidrogênio e iodeto de potássio, avaliou o efeito da presença de íons ferro(III), ferro(II) e fosfato; e constatou que a maior interferência foi causada por ferro(III) e o método tolerou até 10 mg dm^{-3} de fosfato. Bradfield e Stickland (1975) e Eivazi et al. (1982) otimizaram o sistema proposto por Fugi (1970), reduzindo a interferência de Fe^{3+} com a presença de fluoreto de amônio. Entretanto, Dallpai (1996), não descartou a possibilidade de interferência de outros íons na determinação de molibdênio pelo mesmo método. No presente trabalho, a interferência causada pelo íon fosfato, parece não ter sido a causa do aumento na quantidade de molibdênio determinado, pois, como verificado na Tabela 2, o teor de fósforo nos solo esteve em valores próximos abaixo do limite de interferência encontrado por Fugi (1970). Entretanto, apesar da utilização do fluoreto de amônio na presente pesquisa, a interferência causada por Fe não pode ser

descartado devido seu alto teor nos solos estudados e a capacidade da resina extrair grandes quantidades de ferro das amostras de solo.

Destaca-se nessas Figuras, a resposta linear até a maior dose de molibdênio adicionado ao solo, $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$, apresentado por todas as soluções que retiram o molibdênio da resina, independente do tipo de solo, onde o menor coeficiente de determinação foi verificado para a solução Dallpai 1, no solo RL ($R^2=0,87$). Salienta-se, entretanto, que as equações correspondem às curvas médias, obtidas pela média das repetições de cada dose. Toma importância, dessa forma, a Tabela 12, onde são comparados os coeficientes de determinação (R^2) de cada repetição da curva, isto é, para cada repetição foram elaboradas as curva de regressão com seus respectivos coeficientes de determinação, que foram comparados entre si pelo teste de Tukey, sendo este o motivo da diferença entre os coeficientes de regressão apresentado nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 daqueles apresentados na Tabela 12.

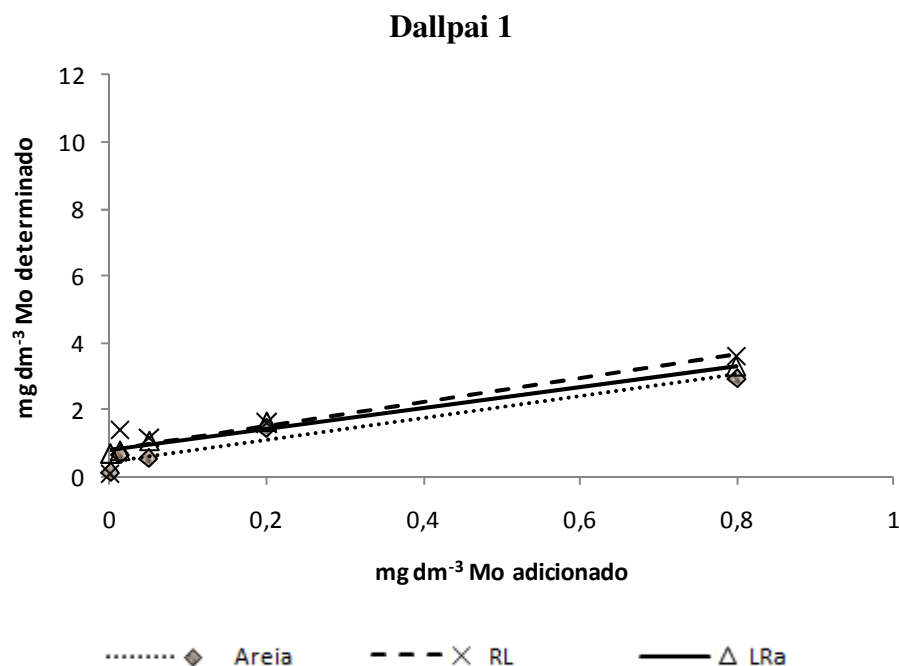


Figura 4. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRA, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Dallpai 1, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 3,2223x + 0,46$ $R^2 = 0,95^{**}$; RL: $y = 3,5134x + 0,8235$ $R^2 = 0,87^{**}$; LRA: $y = 3,1594x + 0,7978$ $R^2 = 0,98^{**}$
 ** Significativo a 1% de probabilidade.

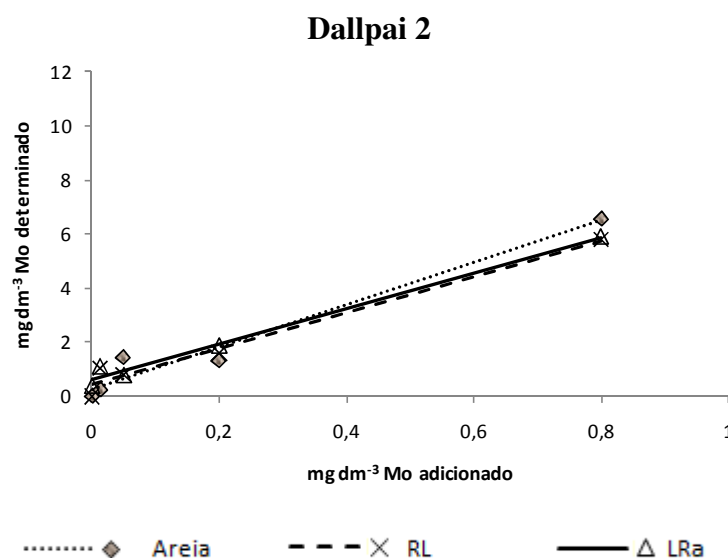


Figura 5. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Dallpai 2, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 7,7919x + 0,2694$ $R^2 = 0,97^{**}$; RL: $y = 6,6764x + 0,4236$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 6,5695x + 0,6256$ $R^2 = 0,99^{**}$
 ** Significativo a 1% de probabilidade.

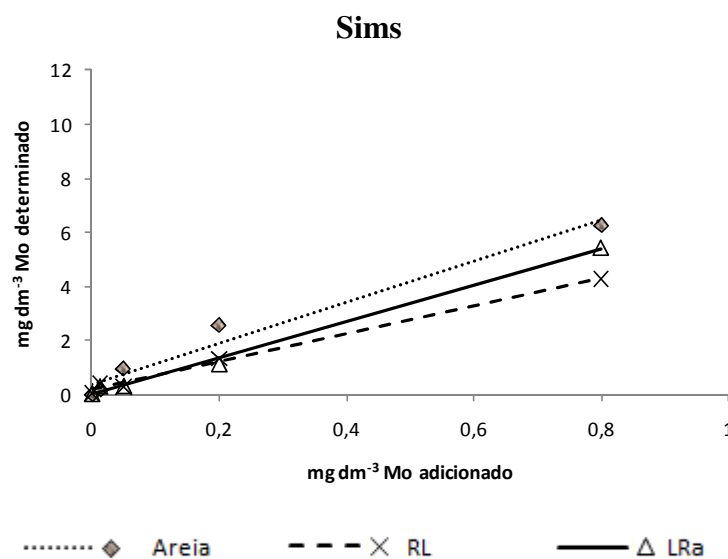


Figura 6. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Sims, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 7,558x + 0,4025$ $R^2 = 0,97^{**}$; RL: $y = 5,1489x + 0,1788$ $R^2 = 0,99^{**}$; LRa: $y = 6,6925x + 0,0366$ $R^2 = 1,00^{**}$
 ** Significativo a 1% de probabilidade.

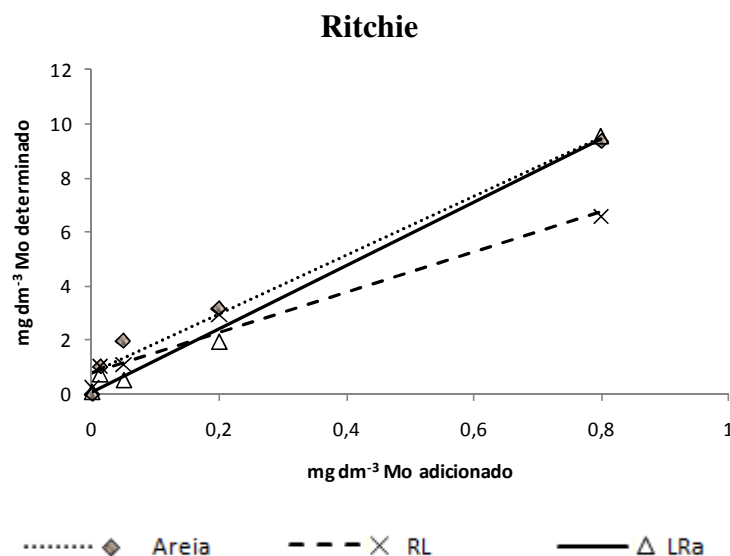


Figura 7. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Ritchie, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 10,803x + 0,8274$ $R^2 = 0,98^{**}$; RL: $y = 7,4141x + 0,8011$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 11,66x + 0,1139$ $R^2 = 0,99^{**}$
 ** Significativo a 1% de probabilidade.

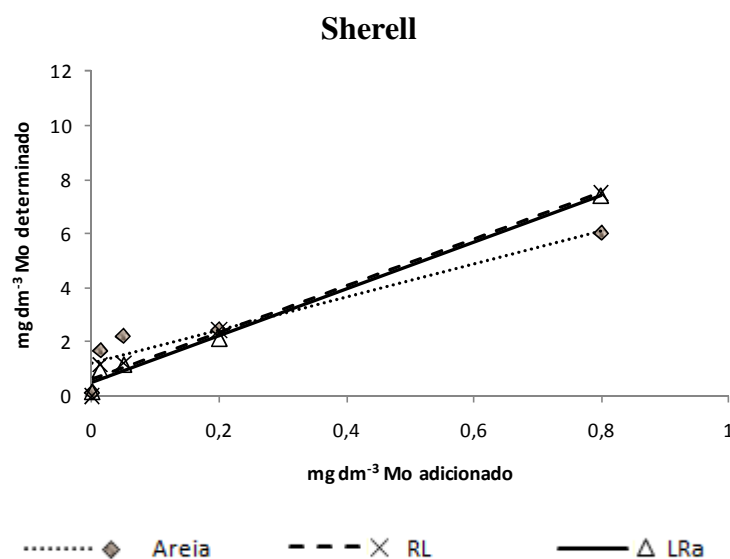


Figura 8. Teor de molibdênio determinado, na areia, solo RL e solo LRa, após a retirada do molibdênio da resina com a solução Sherell, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Botucatu-SP, 2010. Areia: $y = 6,0771x + 1,2097$ $R^2 = 0,90^{**}$; RL: $y = 8,6347x + 0,6291$ $R^2 = 0,98^{**}$; LRa: $y = 8,6047x + 0,5215$ $R^2 = 0,99^{**}$
 ** Significativo a 1% de probabilidade.

O coeficiente de determinação explica qual o percentual de variação de y é explicada pela variação de x (MURRAY e STEPHENS, 2009), assim verifica-se que no solo LRa, a solução Dallpai 1, obteve a menor média de explicação, indicando ser esse uma solução que retira o molibdênio da resina pouco confiável para o solo LRa.

Tabela 12. Coeficiente de determinação da regressão linear entre molibdênio adicionado na areia lavada, solo RL, solo LRa e molibdênio retirado da resina por cinco soluções. Botucatu-SP, 2010.

SRMR	Solo			
	Areia	RL	LRa	Média dos solos
coeficiente de determinação da regressão linear				
Dallpai 1	0,91 Aa	0,81 Aa	0,53 Bb	0,75 b
Dallpai 2	0,96 Aa	0,97 Aa	0,97 Aa	0,97 a
Sims	0,91 Aa	0,99 Aa	0,99 Aa	0,96 a
Ritchie	0,98 Aa	0,96 Aa	0,99 Aa	0,97 a
Sherell	0,90 Aa	0,98 Aa	0,99 Aa	0,96 a

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem estatisticamente a 5% pelo teste de tukey. DMS coluna = 0,22; DMS coluna (média dos solos) = 0,13; DMS linha = 0,19; CV% = 11,84. SRMR: solução que retira o molibdênio da resina.

Diante dos resultados obtidos, os principais critérios considerados para a escolha da solução que retira o molibdênio da resina foram a maior proximidade entre os valores do molibdênio adicionado e do molibdênio determinado; e a confiabilidade da solução que retira o molibdênio da resina para os três solos, sendo esse último que permitiu a escolha da solução Sims.

6.2.2 Avaliação da solução Sims que retira o molibdênio da resina trocadora de íons

6.2.2.1 Avaliação pH da solução Sims

Na Figura 9 são apresentadas as correlações de Pearson entre as variáveis pH da solução Sims e valores da absorbância resultante da reação $KI+H_2O_2$, para cada dose da curva-padrão de molibdênio.

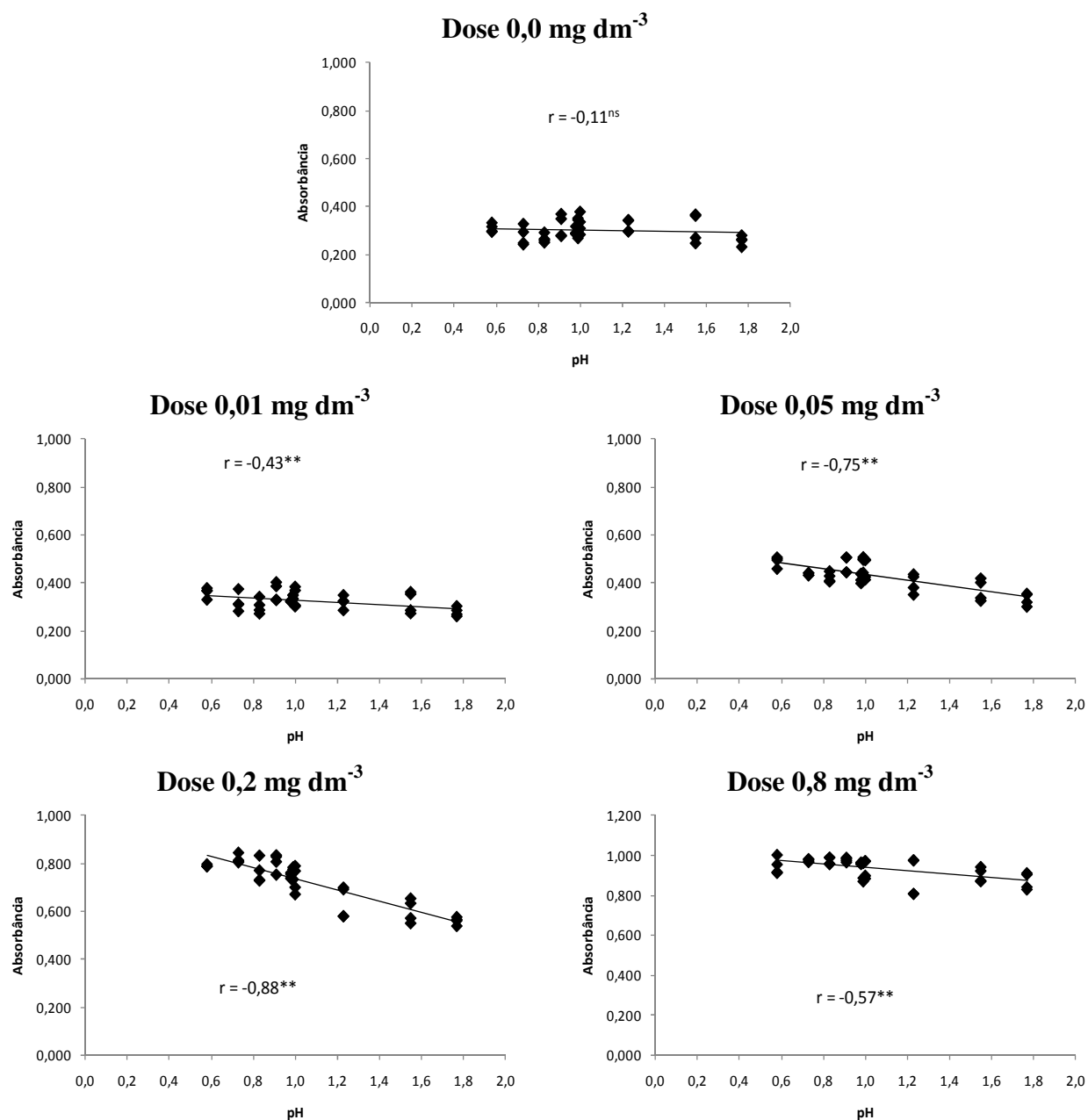


Figura 9. Correlação de Pearson entre pH da solução Sims e absorbância da amostra, para cada dose (0,0; 0,01; 0,02; 0,05; 0,2; 0,8 mg dm⁻³) da curva padrão de molibdênio.

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.

O coeficiente de Pearson trata-se de um modelo pelo qual avalia se uma das variáveis é explicada pela outra, através de uma reta. Essa relação entre uma variável e outra é descrita pela forma matemática do coeficiente de correlação, representado pela letra *r* (MURRAY e STEPHENS, 2009).

Verifica-se que apenas na dose $0,0 \text{ mg dm}^{-3}$ da curva a relação entre pH e absorvância não foi significativa. Nas demais doses houve significância a 1%, sendo os maiores valores do coeficiente de correlação apresentados pelas doses $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$.

Percebe-se ainda, pelos valores negativos de r , correlação negativa entre as variáveis, ou seja, quanto maior o valor de pH da solução Sims, menor foi a leitura da absorvância. Segundo Eivasi et al. (1982) os valores de absorvância são influenciados pela acidez do meio e, portanto, quanto mais ácido for o meio maior a velocidade de reação entre o iodeto de potássio e peróxido de hidrogênio, como foi constado no presente trabalho.

A partir dos coeficientes de determinação, encontrados na Tabela 13, verifica-se que o percentual de variação da absorvância é melhor explicado pela variação dos padrões de molibdênio da solução Sims em pH entre 1,2 e 1,8, com explicação acima de 90%. Eivasi et al. (1982) indicam a acidez correspondente à do $\text{HCl } 0,125 \text{ Mol L}^{-1}$, $\text{pH}=0,8$, como sendo aquela que proporciona a máxima sensibilidade de determinação. Entretanto, para a solução Sims o valor de pH da solução próximo a 0,8, não é o que representa as respostas mais confiáveis.

Tabela 13. Coeficiente de determinação da regressão linear entre padrões molibdênio e absorvância em diferentes valores de pH da solução $\text{NaNO}_3 \text{ } 2 \text{ Mol L}^{-1} + \text{HCl } 2 \text{ mol L}^{-1}$. Botucatu-SP, 2010.

pH solução Sims	coeficiente de determinação (R^2)
0,5	0,7650 c
0,7	0,7625 c
0,8	0,8100 c
0,9	0,7850 c
1,0	0,8325 bc
1,2	0,9025 ab
1,5	0,9375 a
1,8	0,9375 a
CV%	4,56
DMS	0,0924

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade;
CV%: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

6.2.2.2 Determinação de molibdênio com a solução Sims

6.2.2.2.1 Absorbância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims

Na Tabela 14 são apresentados os valores de pH (CaCl_2) da areia, solo RL e solo LRa, antes e depois da calagem. Verifica-se que houve o aumento esperado de pH com a aplicação do calcário nos três solos. A espécie química e disponibilidade de molibdênio na solução do solo é função do pH. Em pH em água $>5,0$, o molibdênio existe primariamente como MoO_4^{2-} (SIMS, 1996), mas em baixos níveis de pH predominam a HMoO_4^- e H_2MoO_4^0 (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001).

Tabela 14. Valores de pH (CaCl_2) sem e com calagem na areia lavada, solo RL e solo LRa em quantidades crescentes de molibdênio adicionado ao solo. Botucatu-SP, 2010.

Molibdênio adicionado g ha^{-1}	Areia		RL		LRa	
	s/ calagem	c/ calagem	s/ calagem	c/ calagem	s/ calagem	c/ calagem
0	4,5	6,2	3,8	5,8	3,7	5,5
25	4,3	6,3	3,8	6,0	3,5	5,8
100	4,6	6,4	3,9	5,9	3,5	5,8
400	4,9	6,6	3,9	5,9	3,6	5,8
1600	5,1	6,5	4,1	5,9	3,6	5,7

Pôde-se observar durante o procedimento analítico, que, após a etapa de agitação para retirar o molibdênio da resina, as amostras adquiriram coloração que poderiam mascarar os resultados de determinação do molibdênio. Mesmo após tentativas de clarificação com carvão aditivado, não foi possível padronizar satisfatoriamente a coloração das amostras. Assim, foram feitas leituras das absorbâncias das amostras sem a reação entre o peróxido de hidrogênio e iodeto de potássio, para verificar as possíveis interferências. O resumo da análise de variância para a absorbância das amostras sem a reação está apresentado na Tabela 15. Verifica-se que as fontes de variação solo, calagem, dose e suas interações, com exceção da interação solo*dose, apresentaram significância a 1%, sendo possível inferir que existem interferências da coloração da amostra nos valores da determinação de molibdênio pelo método colorimétrico do iodeto de potássio.

Tabela 15. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, solo (S), calagem (C), dose (D) e suas interações para a variável absorvância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada
	Absorvância
Repetição	1,098 ^{ns}
S	317,227**
C	87,535**
D	4,865**
S*C	83,165**
S*D	2,046 ^{ns}
C*D	11,356**
S*D*C	7,878**
CV%	27,35

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$). CV%: coeficiente de variação.

O desdobramento da interação solo*calagem é apresentado na Tabela 16. Observa-se efeito do tipo de solo e da calagem na absorvância das amostras. Na comparação entre os solos (linha), percebe-se que tanto sem, quanto com aplicação de calcário, o solo LRa apresentou maior absorvância, diferenciando estatisticamente do solo RL que, por sua vez também apresentou absorvância superior a areia.

Tabela 16. Desdobramento da interação solo versus calagem para absorvância de amostra de solo agitada com resina e solução Sims. Botucatu-SP, 2010.

Calagem	Solo		
	Areia	RL	LRa
Sem calagem	0,055 Ac	0.106 Ab	0.176 Ba
Com calagem	0,064 Ac	0.106 Ab	0.382 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem estatisticamente a 1% pelo teste de tukey.

DMS coluna = 0,026; DMS linha = 0,031.

6.2.2.2.2 Teor de molibdênio retirado da resina com a solução Sims

Devido o efeito da coloração na absorvância das amostras de solo (Tabela 16) que poderiam interferir na absorvância da reação, resolveu-se descontar o valor

absorvância da reação de cada amostra pela sua respectiva absorvância, buscando minimizar essa interferência.

Além disso, considerando-se a recomendação de Eivazi et al. (1982), de que a curva padrão de molibdênio diluída em HCl 0,125 Mol L⁻¹, proporciona a máxima sensibilidade na determinação, decidiu-se calcular os resultados das análises de molibdênio a partir dessa curva de calibração e da curva-padrão diluída na solução Sims com pH=1,8. O resumo da análise de variância do teor de molibdênio correspondente a essas duas curvas de calibração está apresentado na Tabela 17.

Verificou-se significância a 1% para todas as fontes de variação (exceto para repetição) tanto na curva HCl 0,125 Mol L⁻¹ (pH=0,8), quanto na curva Sims (pH=1,8).

Tabela 17. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: repetição, solo (S), calagem (C), dose (D) e suas interações para a variável teor de molibdênio (mg dm⁻³) correspondentes a curva de calibração curva HCl 0,125 Mol L⁻¹ (pH=0,8) e curva de calibração da solução Sims (pH=1,8). Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada	
	mg dm ⁻³ molibdênio solo	
	curva HCl 0,125 Mol L ⁻¹ (pH=0,8)	curva Sims (pH=1,8)
Repetição	0,638 ^{ns}	0,48 ^{ns}
S	258,849**	273,335**
C	11,300**	3,101**
D	473,459**	381,909**
S*C	187,518**	164,909**
S*D	30,478**	35,494**
C*D	24,098**	20,407**
S*D*C	24,254**	20,451**
CV%	7,88	8,92

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$). CV%: coeficiente de variação.

Nas Tabelas 18 e 19, encontra-se o desdobramento da interação solo versus calagem para o teor de molibdênio, correspondente à curva HCl 0,125 Mol L⁻¹ (pH=0,8) e Sims (pH=1,8), respectivamente. Observa-se que, para ambas as curvas, foram

obtidos comportamentos equivalentes, tanto para a comparação dos solos, quanto para a calagem.

Visualiza-se que apenas na areia foi verificado aumento do teor de molibdênio pela aplicação de calcário. Segundo Lindsay (1996) apud Hamlin (2007), para cada aumento de uma unidade no pH do solo acima de 5,0, a concentração de molibdênio solúvel aumenta 100 vezes. Como se pôde observar na Tabela 14, a areia apresentou os maiores valores de pH após a calagem, possivelmente sendo essa uma das causas do maior teor de molibdênio observado. Outro fator que pode ter influência nos resultados obtidos, pelo menos no solo LRa, foi o desconto da absorbância da amostra. Como a absorbância do solo LRa com calagem foi a maior observada (Tabela 16), quando se descontou esse valor da absorbância da reação, resultou em valores muito baixos ou nulos.

Tabela 18. Desdobramento da interação solo versus calagem, para o teor de molibdênio retirado da resina com solução Sims, correspondente a curva de calibração com HCl 0,125 Mol L⁻¹ (pH=0,8). Botucatu-SP. 2010.

Calagem	Solo		
	Areia	RL	LRa
Sem calagem	0,90 Bb	1,94 Aa	1,03 Ba
Com calagem	2,53 Aa	1,89 Ba	0,18 Cb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem estatisticamente a 1% pelo teste de Tukey. DMS coluna= 0,06; DMS linha= 0,075

Tabela 19. Desdobramento da interação solo versus calagem, para o teor de molibdênio retirado da resina com solução Sims, correspondente a curva de calibração com solução Sims (pH=1,8). Botucatu-SP. 2010.

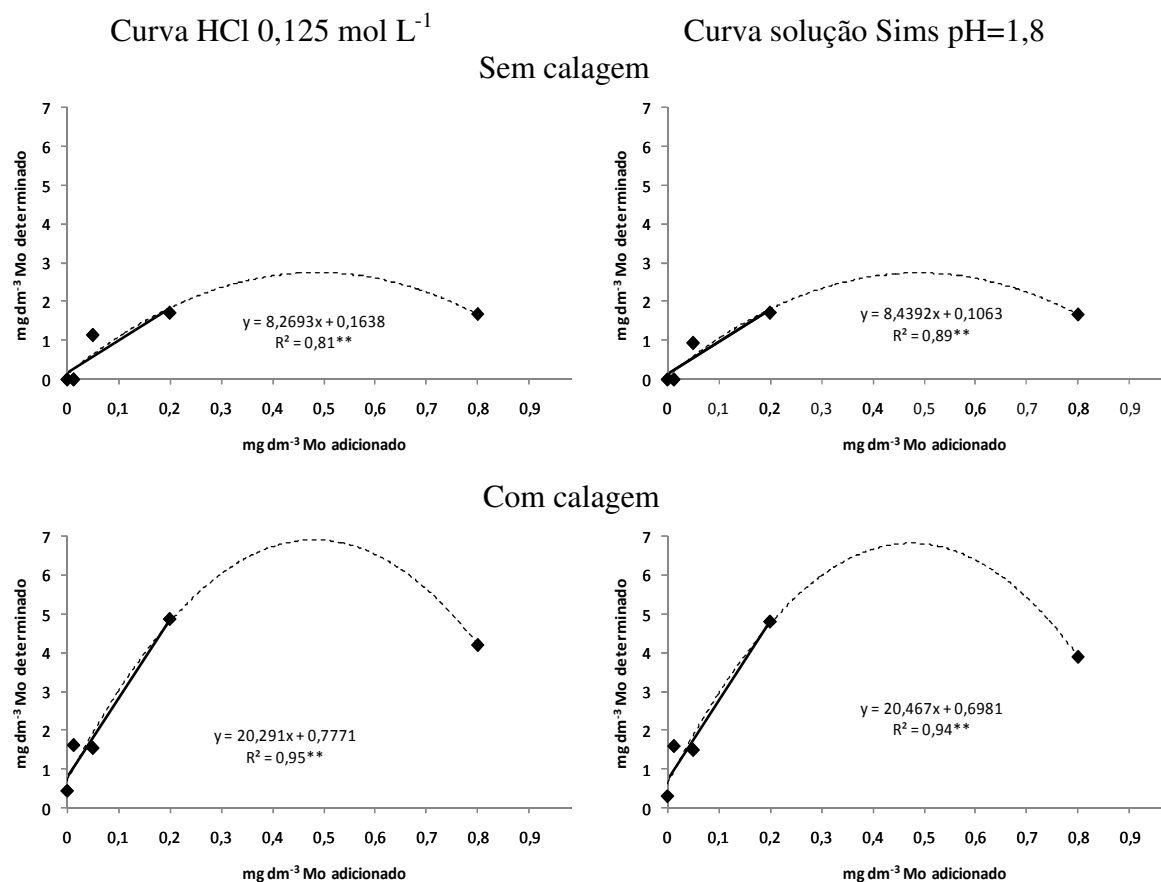
Calagem	Solo		
	Areia	RL	LRa
Sem calagem	0,86 Bb	1,80 Aa	0,80 Ba
Com calagem	2,41 Aa	1,60 Ba	0,00 Cb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. DMS coluna= 0,068; DMS linha= 0,08

Nas Figuras 10, 11 e 12 são apresentados as regressões lineares do molibdênio determinado pelo método do iodeto de potássio em função do molibdênio adicionado ao solo, com dados referentes a curva HCl 0,125 Mol L⁻¹ e solução Sims. Pode-se

observar, pela linha tracejada, que a curva quadrática é a que apresenta melhor ajuste até a dose de 0,8 mg dm⁻³ de molibdênio adicionado. Entretanto, até a dose de 0,2 mg dm⁻³ de molibdênio adicionado, a equação linear apresenta um bom ajuste, sendo essa a equação apresentada nas Figuras 10, 11 e 12. Dallpai (1996), estudando o efeito da concentração de molibdênio na curva-padrão, constatou que concentrações de molibdênio no intervalo de 0 a 0,15 mg dm⁻³ apresentou bom ajuste ao modelo linear, diminuindo o ajuste com o aumento da concentração. Esse autor ressalta ainda, que com o aumento da concentração, a sensibilidade da determinação do molibdênio diminui.

Areia



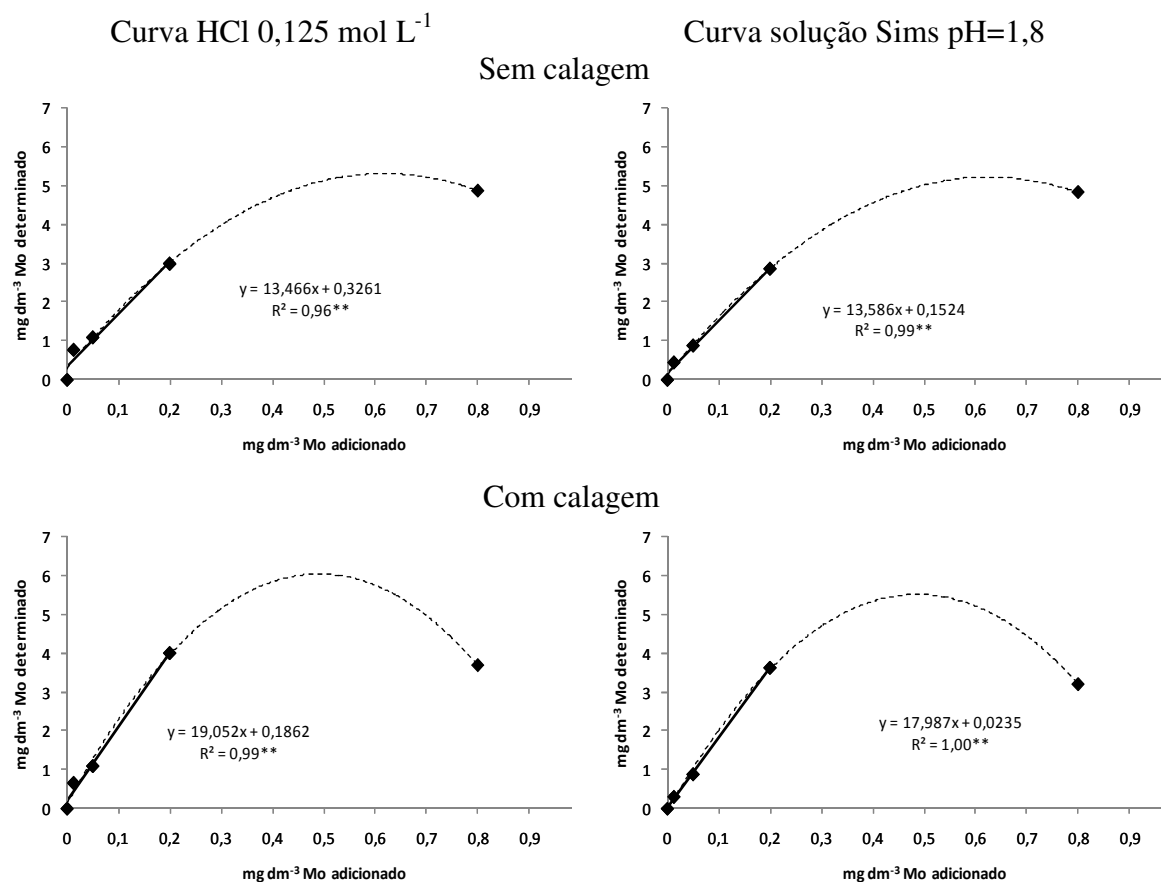
— Linha de tendência linear (0 – 0,2 mg dm⁻³ Mo adicionado) com equação e coef. de determinação

----- Linha de tendência que melhor se ajusta (0 – 0,8 mg dm⁻³ Mo adicionado)

Figura 10. Teor de molibdênio determinado na areia lavada, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L⁻¹: curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Solo RL



— Linha de tendência linear (0 – 0,2 mg dm⁻³ Mo adicionado) com equação e coef. de determinação

----- Linha de tendência que melhor se ajusta (0 – 0,8 mg dm⁻³ Mo adicionado)

Figura 11. Teor de molibdênio determinado no solo RL, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L⁻¹: curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Vale ressaltar que os coeficientes angulares das equações lineares verificados nas Figuras 10 e 11 (areia e solo RL, respectivamente) foram maiores com calagem do que sem calagem; ao contrário do que verificou-se com o solo LRa, que obteve coeficiente angular menor com a aplicação de calcário (Figura 12). Segundo Bibak e Borggaard (1994) a disponibilidade de molibdênio aumenta com o aumento do pH. Os resultados obtidos na presente pesquisa indicam que a determinação do molibdênio, utilizando a solução Sims para retirar o molibdênio da resina, foi eficiente para detectar o aumento da

disponibilidade de molibdênio pelo aumento do pH na areia e no solo RL, não sendo eficiente para detectar esse aumento no solo LRa.

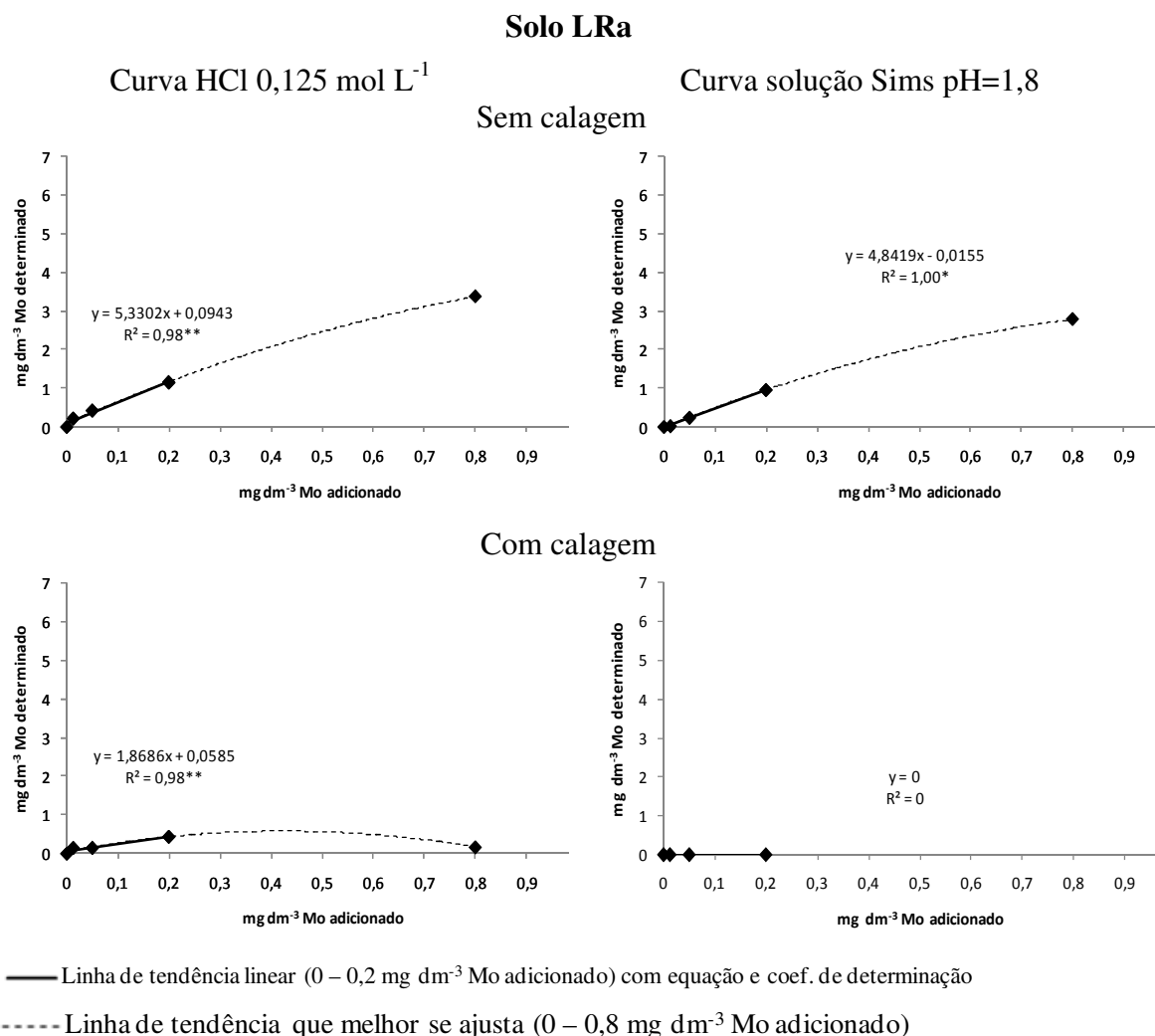


Figura 12. Teor de molibdênio determinado no solo LRa, sem e com calagem, em função do teor de molibdênio aplicado no solo. Curva HCl 0,125 mol L⁻¹: curva padrão com essa solução; Curva solução Sims pH=1,8: curva padrão com essa solução.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 20 é apresentado o teste de média em cada solo do coeficiente de determinação da regressão linear obtida a partir das curvas de calibração HCl 0,125 Mol L⁻¹ e solução Sims, nas faixas de concentração de molibdênio de 0,0 a 0,8 e 0,0 a 0,2 mg dm⁻³. Verifica-se que na areia, tanto sem calagem quanto com calagem, os maiores coeficientes de determinação foram obtidos com as curvas de HCl 0,125 mol L⁻¹ e Sims na

concentração de 0,0 a 0,2 mg dm⁻³. Nos solos RL e LRa, sem calagem, não foram detectadas diferenças significativas entre os coeficientes de determinação, estando todos eles acima de 85%; entretanto, com a aplicação de calcário, o cálculo do molibdênio a partir da curva obtida com a solução HCl 0,125 Mol L⁻¹, na concentração entre 0,0 e 0,2 2 mg dm⁻³, foi o que apresentou as melhores explicações.

Tabela 20. Teste de média do coeficiente de determinação da regressão linear obtida a partir das curvas de calibração HCl 0,125 Mol L⁻¹ e solução Sims, nas faixas de concentração de molibdênio de 0,0 a 0,8 e 0,0 a 0,2 mg dm⁻³. Botucatu-SP. 2010.

		Curva			
Solo	Calagem	HCl 0,125 Mol L ⁻¹		Sims	
		Concentração (mg dm ⁻³)			
		0,0-0,8	0,0-0,2	0,0-0,8	0,0-0,2
Areia	Sem calagem	0,45 B	0,81 A	0,49 B	0,88 A
	Com calagem	0,45 B	0,94 A	0,39 B	0,94 A
RL	Sem calagem	0,88 A	0,96 A	0,89 A	0,99 A
	Com calagem	0,51 B	0,98 A	0,47 B	0,98 A
LRa	Sem calagem	0,97 A	0,85 A	0,97 A	0,92 A
	Com calagem	0,09 B	0,79 A	0,00 B	0,00 B

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. CV(%) = 11,74; DMS = 0,15

Vale salientar que, apesar dos altos coeficientes de determinação verificados através do cálculo com a curva HCl 0,125 Mol L⁻¹, não se pode desprezar o fato de que o teor de molibdênio determinado no solo foi maior do que o molibdênio aplicado, como pôde ser observado nas Figuras 10, 11 e 12. Considera-se, portanto, que para a obtenção de resultados satisfatórios na análise de molibdênio nos solos utilizados no presente estudo, faz-se necessário a utilização das equações da regressão linear do molibdênio determinado em função do molibdênio aplicado, presente nas referidas Figuras. Assim, após todo procedimento para o cálculo do teor de molibdênio determinado, aplica-se as equações lineares da curva HCl 0,125 mol L⁻¹ das Figuras 10, 11 e 12. São elas:

$$y = 5,3302x + 0,0943; \text{ para o solo LRa sem calagem;}$$

$y = 1,8686x + 0,0585$: para o solo LRa com calagem;

$y = 13,466x + 0,3261$: para o solo RL sem calagem;

$y = 19,052x + 0,1862$: para o solo RL com calagem,

sendo y o teor de molibdênio determinado e x o teor de molibdênio na solução do solo.

6.3 Experimentos conduzidos na casa de vegetação

6.3.1 Diagnose foliar

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados, respectivamente, o teor de macronutrientes e micronutrientes na folha diagnose do milho no período de florescimento, dos Experimentos I, II e III.

Tabela 21. Teor de macronutrientes (g kg^{-1}) na folha diagnose de plantas de milho híbrido DOW 2B587. Botucatu-SP, 2010.

Solo	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg^{-1} -----						
Experimento I						
LRa	16,7	1,0	6,7	7,7	5,8	1,5
RL	12,8	1,8	6,0	6,5	3,4	1,5
Experimento II						
LRa	18,3	1,4	8,2	5,8	1,5	1,4
RL	10,9	1,7	5,2	6,2	1,5	1,5
Experimento III						
RL	25,1	1,4	15,5	4,7	1,7	1,7

Tabela 22. Teor de macronutrientes (mg kg^{-1}) na folha diagnose de plantas de milho híbrido DOW 2B587. Botucatu-SP, 2010.

Solo	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg kg^{-1} -----					
Experimento I					
LRa	18,5	5,8	223,5	91,5	7,3
RL	19,1	5,5	201,8	71,0	7,3
Experimento II					
LRa	21,9	5,0	290,3	344,3	12,7
RL	23,5	6,7	442,3	482,3	17,7
Experimento III					
RL	23,8	7,8	275,5	35,0	10,3

6.3.2 Teor de molibdênio na planta

6.3.2.1 Experimentos I e II

Na Tabela 23 é apresentado o resumo da análise de variância para as fontes de variação repetição, solo, forma de aplicação e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha diagnose, grãos e caule de milho, nos Experimentos I e II. Vale salientar que foram apresentados na citada Tabela os valores de F das causas de variação qualitativas, sendo os dados da variável quantitativa dose de molibdênio, apresentados mais adiante.

Percebe-se que a diferença do teor de molibdênio entre os tipos de solo (RL e LRa) só não foi significativa na folha diagnose do milho cultivado no Experimento II. Essa ausência de diferença pode ser explicada pelo fato de que sem a calagem, ambos os solos apresentaram baixos valores de pH, situação que reduz a disponibilidade de molibdênio em solo que naturalmente apresentasse maior teor de molibdênio (LINDSAY, 1996 apud HAMLIN, 2007).

Já em relação à forma como o molibdênio foi aplicado (via folha, semente ou solo), foram detectadas diferenças significativas apenas no teor de molibdênio na folha diagnose e nos grãos de milho, ambos sem calcário.

Tabela 23. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha diagnose, grãos e caule de milho, nos Experimentos I e II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada: teor de molibdênio (mg kg ⁻¹)					
	Folha diagnose		Grãos		Caule	
	Experimento					
	I	II	I	II	I	II
Repetição	3,217 ^{ns}	6,335 ^{**}	2,804 ^{ns}	0,059 ^{ns}	1,296 ^{ns}	2,336 ^{ns}
S	73,234 ^{**}	0,007 ^{ns}	38,855 ^{**}	17,474 ^{**}	5,050 [*]	10,711 ^{**}
FA	0,956 ^{ns}	6,466 ^{**}	0,991 ^{ns}	6,167 ^{**}	2,498 ^{ns}	2,545 ^{ns}
C*FA	1,249 ^{ns}	2,757 ^{ns}	0,395 ^{ns}	8,799 ^{**}	0,245 ^{ns}	1,317 ^{ns}
CV%	18,62	19,82	17,71	13,62	11,62	7,42

^{**} Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

O teor de molibdênio na folha diagnose no Experimento I, do solo RL e solo LRa está apresentado na Figura 13. Pode-se observar que em ambos os solos o teor de molibdênio esteve acima do nível considerado crítico para a cultura, que é de $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ na folha diagnose (GUPTA, 1997). Percebe-se, que o resultado apresentado no solo LRa foi significativamente superior que no solo RL, seguindo o mesmo comportamento verificado para a maior parte dos macro e micronutrientes analisados na folha diagnose (Tabelas 21 e 22).

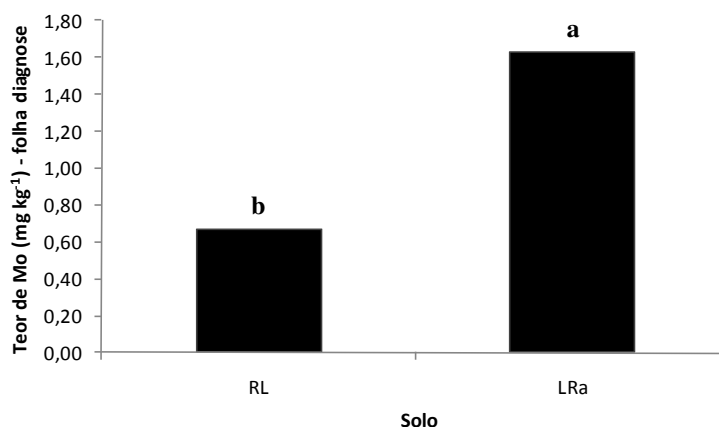


Figura 13. Teste de médias do teor de molibdênio na folha diagnose de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Na Figura 14, verifica-se que o teor de molibdênio na folha diagnose (Experimento II) no tratamento em que a aplicação de molibdênio foi realizada via semente foi superior à forma de aplicação foliar, indicando uma maior eficiência na utilização desse microelemento quando aplicado via semente. Segundo Vidor e Peres (1988), essa é uma prática mais fácil e eficaz de adubação. Já Voss e Pöttker (2001) quando compararam a aplicação de molibdênio via semente com aplicação via foliar, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, concluíram que as duas formas foram equivalentes em eficiência.

A aplicação via solo não apresentou diferenças significativas em relação às duas outras formas de aplicação. Alguns autores afirmam que o melhor é aplicar o molibdênio no solo, antes do plantio (JOHANNES e GUNARTO, 1987; VARGAS e RAMIREZ, 1989); entretanto, em face da sua imobilização no solo, a sua eficiência seria

muito inferior, requerendo, para isso, quantidades necessárias de molibdênio superiores em dez vezes, para equiparar eficiência com a de outros métodos. Na cultura do feijoeiro em areia de quartzo com solução nutritiva, Jacob Neto (1985) verificou melhores resultados com a aplicação foliar do molibdênio comparado com a aplicação no solo. Fato que não ocorreu no presente trabalho.

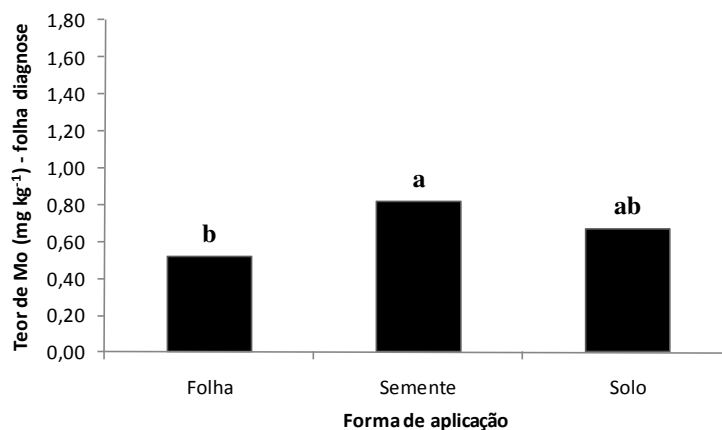


Figura 14. Teste de médias para o teor de molibdênio na folha diagnose de milho entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

O teor de molibdênio nos grãos de milho no Experimento I, foi superior no solo RL (Figura 15).

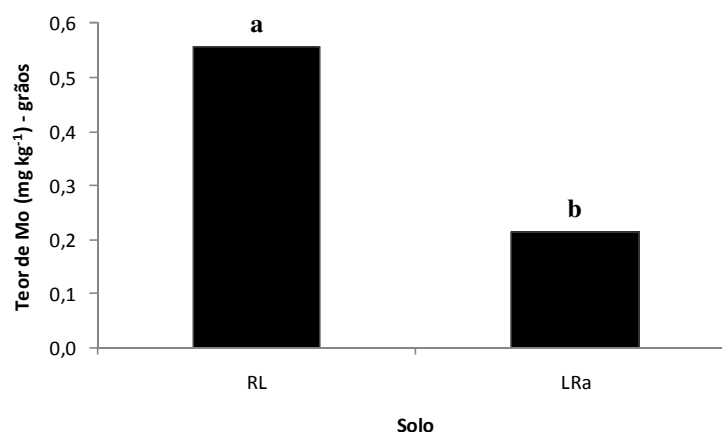


Figura 15. Teste de médias para o teor de molibdênio nos grãos de milho entre o solo RL e o solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Segundo Jacob Neto e Franco (1986) o molibdênio é translocado para esse órgão em quantidades correspondentes a sua concentração no tecido. Esse fato é percebido no solo RL, onde os valores do teor de molibdênio na folha diagnose (Figura 13) e nos grãos (Figura 15) foram próximos. Já para o solo LRa o teor de molibdênio na folha diagnose (Figura 13) foi maior que o observado nos grãos (Figura 15), indicando baixa translocação do molibdênio nesse solo cultivado com calagem.

Para o teor de molibdênio nos grãos de milho cultivado no Experimento II houve significância tanto para o tipo de solo quanto para a forma de aplicação e suas interações. Na Tabela 24 é apresentado o desdobramento dessa interação.

Tabela 24. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para o teor de molibdênio (mg kg^{-1}) nos grãos de milho, no Experimento II (sem calagem). Botucatu-SP, 2010.

Solo	Forma de aplicação		
	Folha	Semente	Solo
RL	0,26 Ab	0,11 Ab	0,27 Aa
LRa	0,53 Aa	0,44 Aa	0,20 Ba

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Nota-se que o solo LRa apresentou as maiores médias nas formas de aplicação folha e semente, sendo as diferenças significativas em relação ao solo RL. Fato esse contrário ao observado na Figura 15, onde na média das três formas de aplicação o teor de molibdênio foi maior no solo RL. Para a forma de aplicação via solo o teor de molibdênio nos grãos dos dois tipos de solo não foi significativamente diferentes.

É possível observar na comparação na linha, entre as formas de aplicação, que, para o solo LRa, o teor de molibdênio aplicado via solo foi inferior as demais formas. Já para o solo RL, o valor apresentado na forma de aplicação via solo, não apresentou diferença da forma via folha e foi superior a forma via semente. Pode-se inferir a partir desses resultados, que o molibdênio aplicado via solo, no solo LRa sem calagem (Experimento II), foi afetado por fatores que afetam a disponibilidade do molibdênio. Segundo Goldberg, Forster, e Godfrey (1996), a adsorção superficial de molibdênio predominantemente ocorre nos óxidos de Al e Fe, minerais de argila e matéria orgânica. Como foi apresentado na Tabela 3, esses fatores estão presentes no solo LRa em altas quantidades. No solo RL os fatores do solo

parecem não ter afetado a disponibilidade do molibdênio aplicado via solo, na Tabela 19 foi possível perceber que o teor de molibdênio nesse solo obteve a maior média.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentados os teores de molibdênio no caule de milho cultivado no Experimento I e Experimento II, respectivamente.

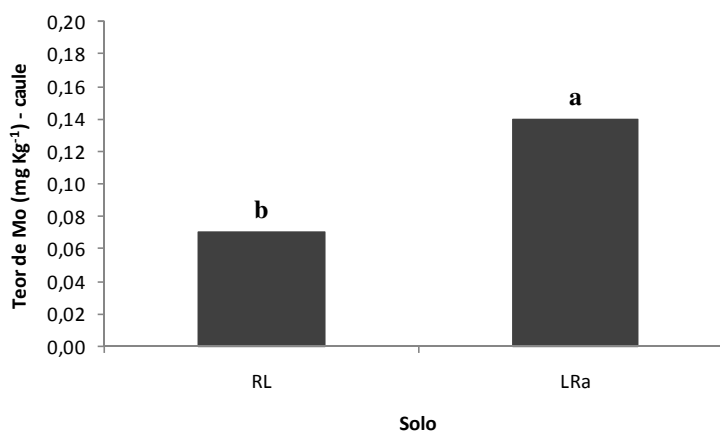


Figura 16. Teste de médias do teor de molibdênio no caule de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

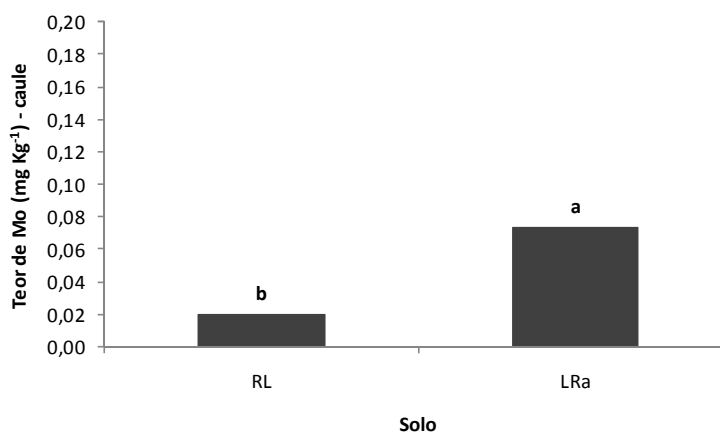


Figura 17. Teste de médias do teor de molibdênio no caule de milho do solo RL e solo LRa, no Experimento II. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

No caule a faixa de deficiência segundo Gupta (1997) situa-se entre 0,013 e 0,11 mg kg⁻¹. Nota-se que apenas o teor de molibdênio no solo LRa no Experimento I apresentou média acima da faixa de deficiência (Figura 16).

Tanto no cultivo com calagem (Experimento I) quanto no sem calagem (Experimento II), percebe-se que o teor de molibdênio no solo LRA foi estaticamente superior ao solo RL.

O resumo da análise de variância para a causa de variação quantitativa dose do teor de molibdênio na folha diagnose do milho cultivado no solo RL e solo LRA, Experimento I, encontra-se na Tabela 25.

No solo RL obteve-se ajuste significativo para a forma de aplicação via semente e via solo, sendo quadrático via semente e linear via solo. No solo LRA encontrou-se ajuste, regressão linear, apenas para a forma de aplicação via semente.

Verifica-se ainda que não se obteve ajuste polinomial para a aplicação foliar em nenhum dos solos. A maioria dos trabalhos referentes a adubação molibídica em diversas culturas apontam a aplicação foliar como uma das mais eficientes. Na cultura do feijoeiro em areia de quartzo com solução nutritiva, Jacob Neto (1985) verificou melhores resultados com a aplicação foliar do molibdênio comparado com a aplicação no solo. Comparando aplicação de molibdênio via semente, com aplicação via foliar, Voss e Pöttker (2001) em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, concluíram que as duas formas foram equivalentes em eficiência. Ferreira (2001) encontrou aumento no teor de molibdênio nas folhas com adubação molibídica. Araújo et al. (2010) em trabalho com aplicação foliar de molibdênio em milho-pipoca, na dose de até 1600 g ha⁻¹ relataram aumento significativo linear no teor foliar. Entretanto, como ocorreu no presente trabalho, Texeira (2006) percebeu que o teor nas folhas de molibdênio não foi influenciado pela aplicação desse micronutriente.

Tabela 25. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha diagnose de milho para o solo RL e solo LRA, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) folha- Experimento I					
	solo RL			solo LRA		
	via folha	via semente	via solo	via folha	via semente	via solo
Reg.linear	0,787 ^{ns}	0,886 ^{ns}	7,108**	3,414 ^{ns}	18,724**	2,646 ^{ns}
Reg.quadrática	3,131 ^{ns}	7,017**	2,540 ^{ns}	0,001 ^{ns}	3,006 ^{ns}	0,126 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01); * Significativo a 5% de probabilidade (0,01 =< p < 0,05);

^{ns} Não significativo (p >= 0,05).

Na Figura 18, solo RL, Experimento I, na forma de aplicação via semente, observa-se pela equação quadrática que o maior teor de molibdênio na folha diagnose foi obtido na dose na quarta dose (22,5 g ha⁻¹). Já na Figura 19, solo LRa, Experimento I, a significância ocorreu para a regressão linear, não sendo a dose de 45 g ha⁻¹ suficiente para atingir o maior teor de molibdênio nas folhas. Grande parte dos autores indicam o tratamento de sementes bastante eficiente no fornecimento de micronutrientes, sendo considerada mais prática e vantajosa que as demais formas de aplicação por requerer doses bem mais baixas. Entretanto, na literatura também encontram-se trabalhos que não obtiveram incremento no teor de molibdênio nas folhas com a aplicação via sementes, como Castro, Boareto e Nakagawa (1994).

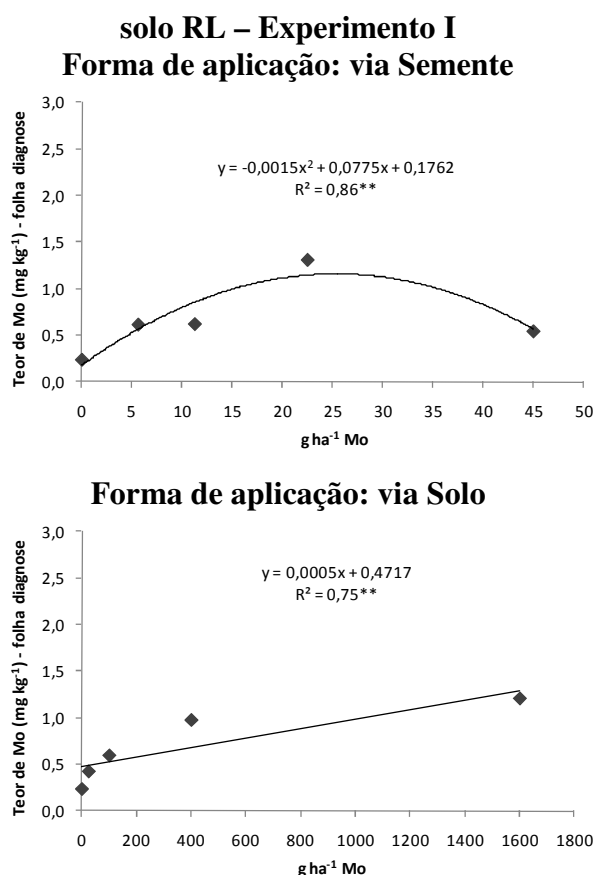


Figura 18. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha⁻¹) via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

A forma de aplicação via solo, no solo RL (Figura 18), proporcionou incremento significativo no teor de molibdênio nas folhas de milho, com o valor apresentado

na maior dose, equivalente ao teor máximo obtido na aplicação via semente. Sabe-se que, em face da imobilização do molibdênio no solo, a eficiência da aplicação via solo seria muito inferior, sendo necessária quantidades de molibdênio muito maior nessa forma de aplicação para equiparar a eficiência com outros métodos, como afirmado por Johannes e Gunarto (1987) e Vargas e Ramirez (1989).

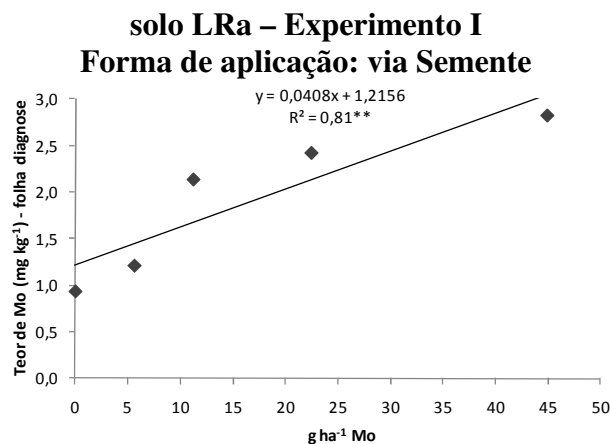


Figura 19. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha⁻¹) via semente, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Na Tabela 26, o resumo de análise da variância apresentado, refere-se ao teor de molibdênio na folha diagnose de milho cultivado no Experimento II. Observa-se que apenas na forma de aplicação via folha no solo LRa não foi obtido ajuste polinomial significativo.

Tabela 26. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha diagnose milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: Teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) folhas - Experimento II					
	solo RL			solo LRa		
	folha	semente	solo	Folha	semente	solo
Reg.linear	6,955**	5,656*	7,302**	1,993 ^{ns}	12,804**	0,351 ^{ns}
Reg.quadrática	4,130*	0,072 ^{ns}	0,137 ^{ns}	1,083 ^{ns}	0,013 ^{ns}	3,682*

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

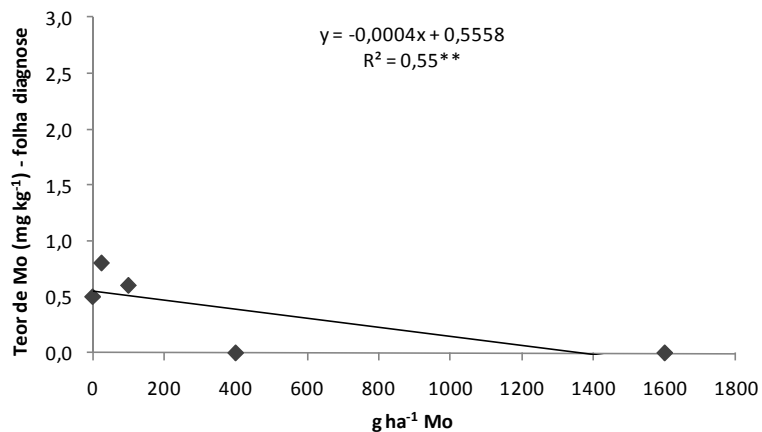
Nas Figuras 20 e 21 são apresentados os teores de molibdênio na folha diagnose de milho cultivado sem calagem (Experimento II), no solo RL e no solo LRa, respectivamente.

O ajuste significativo a 1% de probabilidade, obtido pela aplicação foliar de molibdênio no solo RL, foi o linear (Figura 20). Percebe-se, que ao contrário do que foi obtido pelas demais formas de aplicação, o teor de molibdênio obteve um pequeno aumento na dose de 25 g ha⁻¹, com redução a partir da terceira dose. Esses resultados sugerem baixa assimilação do molibdênio aplicado via folha em doses mais elevadas. Segundo Srivastiva e Gupta (1996) a dose recomenda para aplicação foliar de molibdênio é de menos de 200 g ha⁻¹. Entretanto, em trabalhos como o de Araujo et al. (2010), foi aplicado até 1.600 g ha⁻¹ de molibdênio com aumento linear do teor foliar de molibdênio em milho-pipoca.

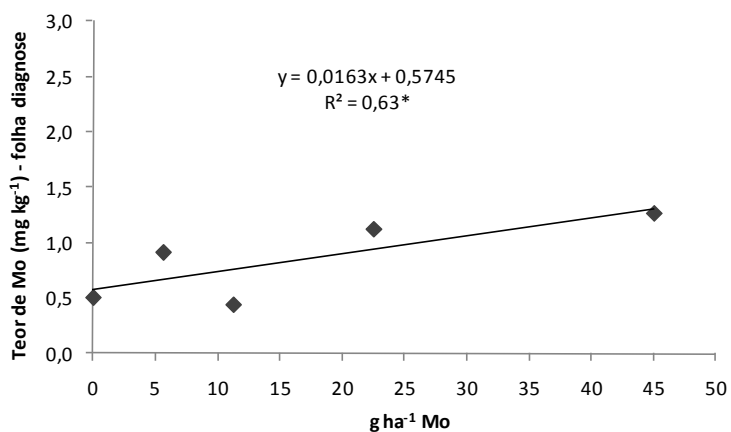
Na forma de aplicação via semente, tanto no solo RL, quanto no solo LRa, o ajuste foi linear com teores equivalentes nos dois solos.

Na forma de aplicação via solo, verifica-se ajuste linear no solo RL e ajuste quadrático no solo LRa. A disponibilidade de molibdênio para as plantas é afetado por diferentes componentes do solo incluindo textura, mineralogia da argila, óxidos e teor de matéria orgânica (REISENAUER, WALSH, e HOEFT, 1973). A máxima sorção de molibdênio por esses componentes tende a ocorrer na faixa entre pH 4 e 5 (BIBAK e BORGGAARD, 1994), faixa na qual encontravam-se os solos sem calagem do presente estudo. Assim, infere-se que, devido à maior ocorrência de fatores que afetam a disponibilidade de molibdênio no solo LRa (verificados na Tabela 1), na ausência da calagem, a dose de 1600 g ha⁻¹ não foi suficiente para disponibilizar molibdênio em quantidades que proporcionasse teor de molibdênio na folha de milho mais elevado que na dose de 400 g ha⁻¹.

solo RL – Experimento II
Forma de aplicação: via Folha



Forma de aplicação: via Semente



Forma de aplicação: via Solo

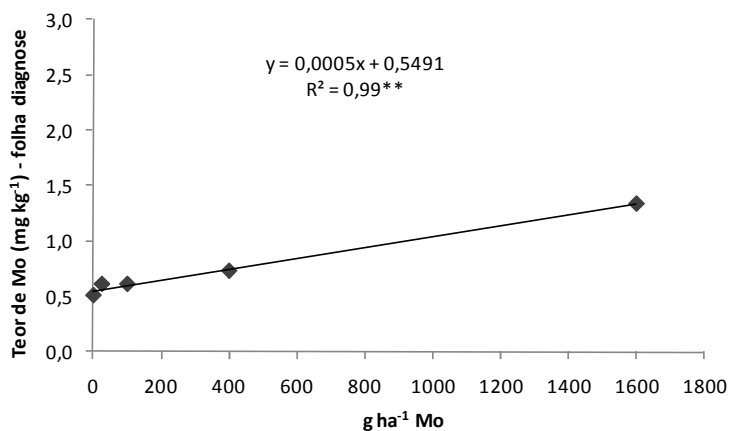


Figura 20. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha⁻¹) via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

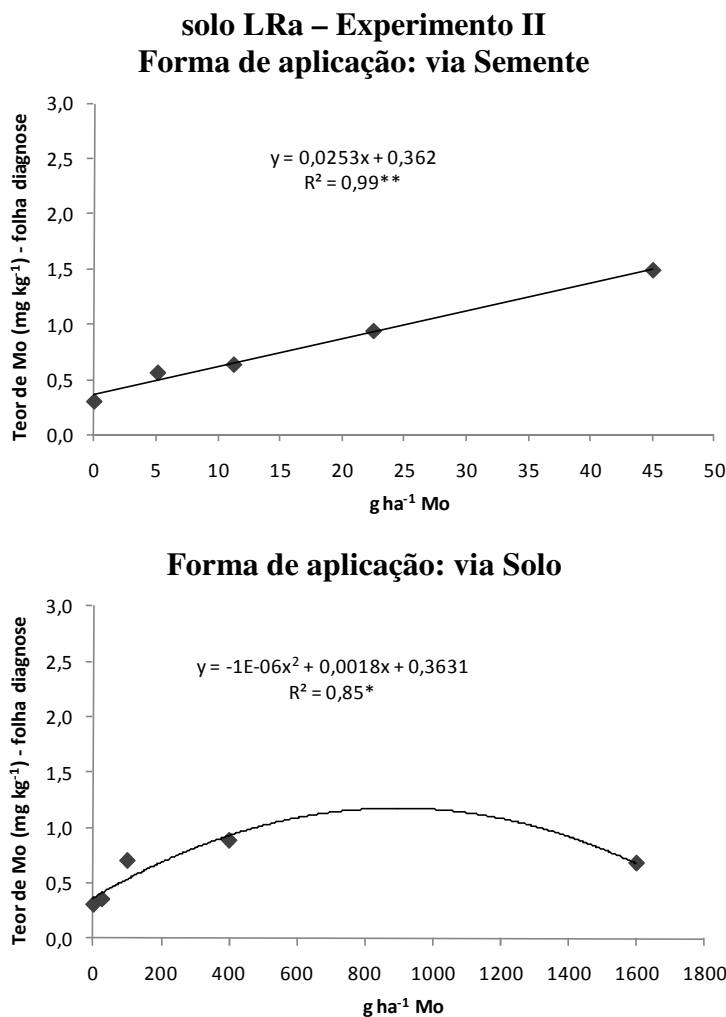


Figura 21. Teor de molibdênio na folha diagnose de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha⁻¹) via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

O resumo da análise de variância do teor de molibdênio nos grãos de milho cultivado com calagem (Experimento I) encontra-se na Tabela 27. No solo RL vê-se que nas três formas de aplicação houve ajuste polinomial, enquanto que no solo LRa, apenas na aplicação foliar foi obtido ajuste significativo, que foi o quadrático.

Teixeira (2006), em trabalho que avaliou o efeito de doses de molibdênio nas culturas do milho comum e milho pipoca, verificou que o teor de molibdênio nos grãos não foi afetado significativamente pela aplicação de molibdênio no milho comum. Entretanto, percebeu que o teor de molibdênio nos grãos aumentou significativamente com

aplicação do micronutriente no milho pipoca, sendo que os maiores teores encontrados nos dois casos foram obtidos fora do intervalo de doses estudado, de 0 a 1600 g ha⁻¹.

Tabela 27. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio nos grãos de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) grãos- Experimento I					
	solo RL			solo LRa		
	Folha	Semente	solo	Folha	semente	Solo
Reg.linear	6,845*	8,338**	0,009 ^{ns}	0,056 ^{ns}	1,745 ^{ns}	2,798 ^{ns}
Reg.quadrática	9,297**	2,119 ^{ns}	4,469*	11,293**	0,004 ^{ns}	1,047 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Figura 22 são apresentadas as curvas de regressão do teor de molibdênio nos grãos de milho no solo RL, Experimento I. Como era de esperar, a quantidade de molibdênio encontrada nos grãos de milho foram menores que aquelas encontradas na folha diagnose (Figura 13).

Segundo Vidor e Peres (1988) a demanda de molibdênio pela planta de milho por, no mínimo, uma geração pode ser suprida por reservas desse micronutriente na semente acima de 0,5 µg semente⁻¹ (correspondente a 1,5 mg kg⁻¹), sem prejuízos à produtividade. Weir e Hudson (1966) afirmaram que o conteúdo de molibdênio acima de 0,08 mg kg⁻¹, não provocou sintomas de deficiência no desenvolvimento inicial em plântulas de milho.

O ajuste quadrático obtido pela forma de aplicação foliar permite, através do cálculo da derivada da equação de regressão, verificar que a dose que proporcionou o maior teor de molibdênio nos grãos foi 726,6 g ha⁻¹ de molibdênio. Valor esse muito próximo daquele recomendado por Campo e Hungria (2002) para o enriquecimento de sementes de soja que é com 800 gramas por hectare de molibdênio. Pessoa et al. (2000) em trabalho que avaliou a concentração de molibdênio nos grãos de feijão em função da aplicação de molibdênio foliar também encontrou ajuste quadrático, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

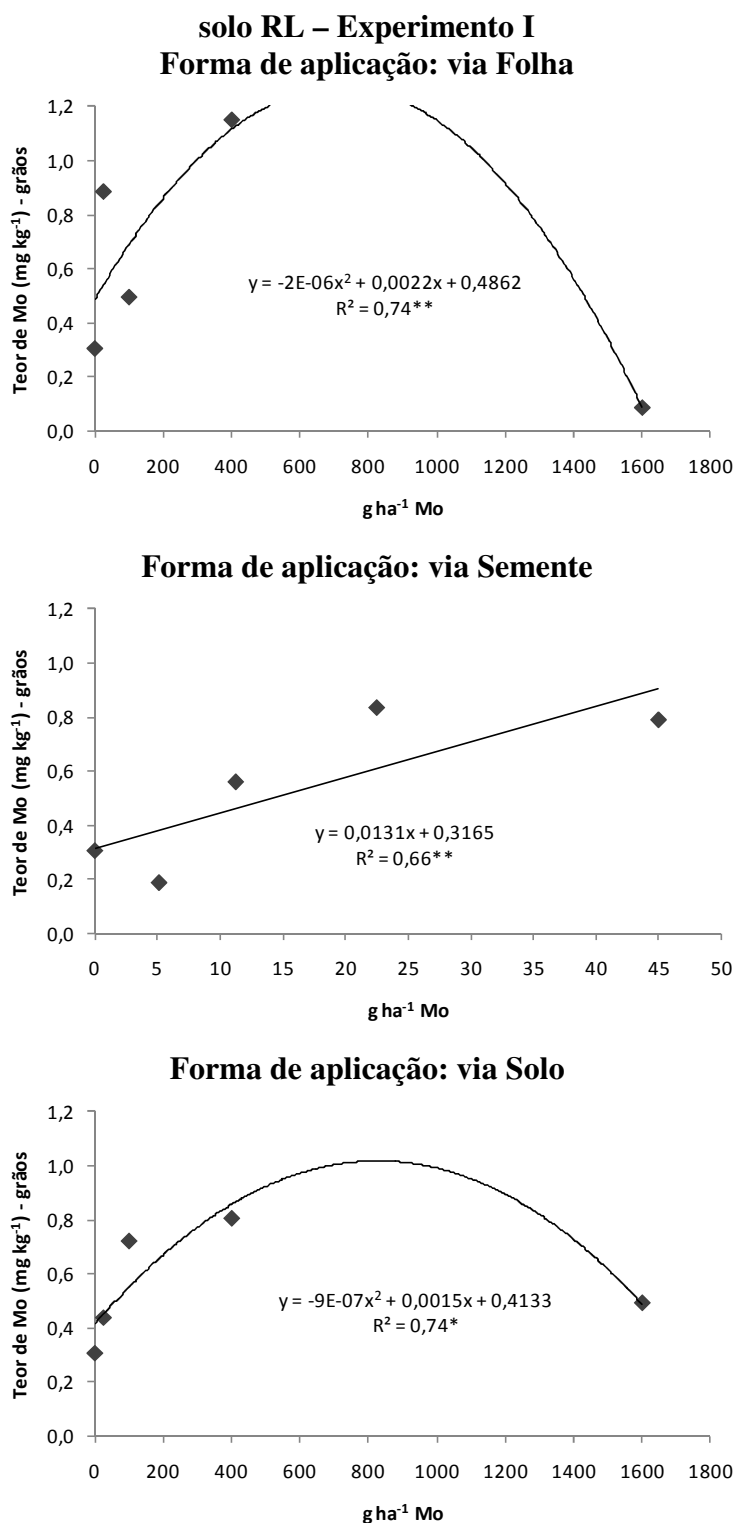


Figura 22. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

* Significativo a 5% de probabilidade.

Nas três formas de aplicação verificou-se capacidade de translocação do molibdênio para os grãos. De acordo com Ferreira et al. (2003), a concentração do elemento na planta aumenta com a dose aplicada e que existe grande capacidade de translocação do nutriente das folhas para as sementes.

Em relação às formas de aplicação via semente e via solo, é possível fazer associação entre o teor de molibdênio nos grãos verificados nessa Figura 22 e o teor de molibdênio na folha, no mesmo solo RL, também do Experimento I, encontrado na Figura 18. Nota-se, verificando a mesma forma de aplicação nas duas Figuras (22 e 18), que apesar da significância obtida para regressões polinomiais serem distintas, o comportamento foi bastante parecido, confirmando o que foi relatado por Jacob Neto e Franco (1986) que o molibdênio é translocado para os grãos em quantidades correspondentes a sua concentração no tecido.

Na Figura 23, o teor de molibdênio nos grãos de milho no solo LRA, na aplicação foliar, assim como observado no solo RL, obteve um ajuste significativo quadrático, com a dose máxima agrônômica de $968,5 \text{ g ha}^{-1}$ de molibdênio.

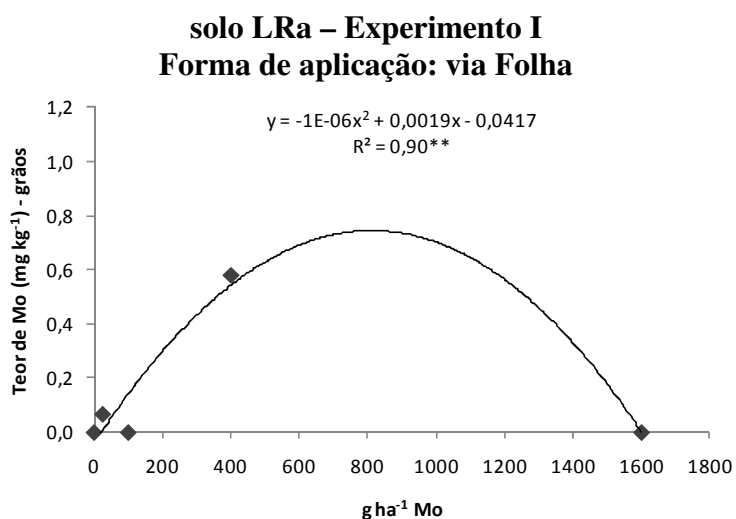


Figura 23. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo LRA em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

O efeito da dose de molibdênio nos grãos de milho, no solo RL e solo LRA, sem calagem (Experimento II), verificado através do resumo de análise de variância da regressão polinomial linear e quadrática, encontra-se na Tabela 28. Percebe-se que apenas na

forma de aplicação via semente com molibdênio, no solo RL, não houve influência significativa das doses.

Tabela 28. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio nos grãos de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: Teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) grãos - Experimento II					
		Solo RL		Solo LRa		
	folha	Semente	Solo	folha	semente	solo
Reg.linear	5,408*	0,011 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,715 ^{ns}	8,880**	5,432*
Reg.quadrática	0,314 ^{ns}	0,699 ^{ns}	4,283*	14,866**	0,007 ^{ns}	8,135**

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Nas Figuras 24 e 25 estão apresentadas as curvas de regressão do teor de molibdênio nos grãos em função da dose de molibdênio aplicada, no solo RL e solo LRa, respectivamente. Dessas, a única que apresentou tendência igual ao teor de molibdênio na folha diagnose, apresentada nas Figuras 18 e 19, foi a forma de aplicação via solo, no solo LRa.

Nas Tabelas 29 e 30, estão apresentados os resumos de análise de variância do teor de molibdênio no caule, do Experimento I (com calagem) e Experimento II (sem calagem), respectivamente. Verifica-se em ambas, que houve significância apenas para o solo LRa, sendo a forma de aplicação via solo significativa tanto no Experimento I quanto no Experimento II, a forma de aplicação via semente significativa apenas no Experimento II e na forma de aplicação foliar não significativa nas duas Tabelas.

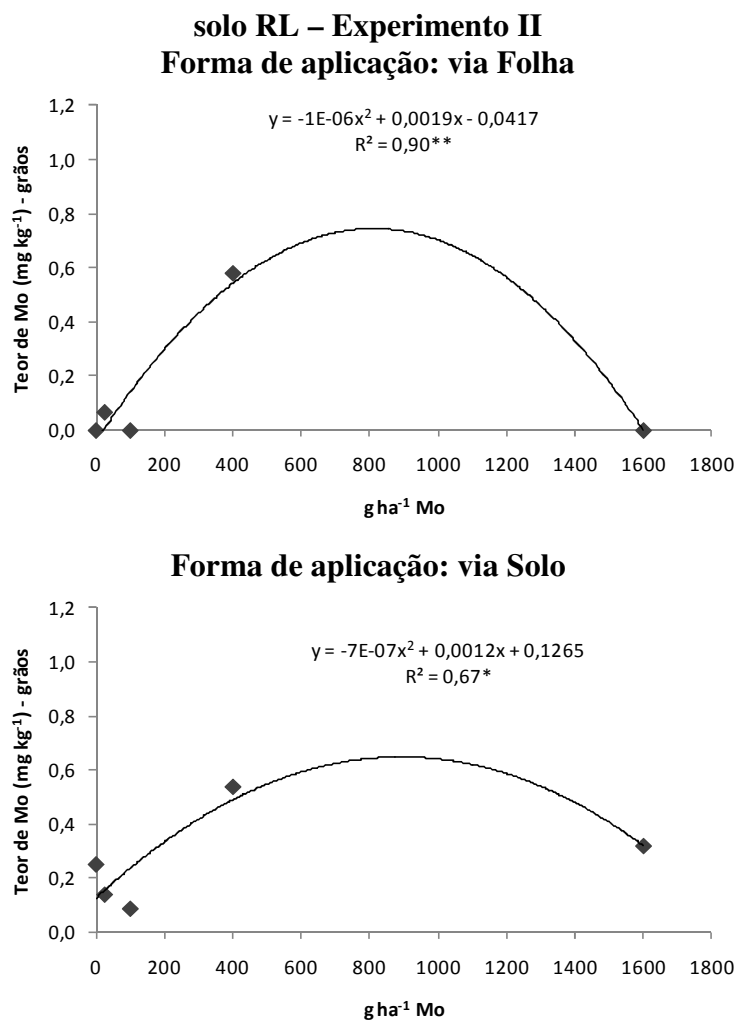


Figura 24. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo RL em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

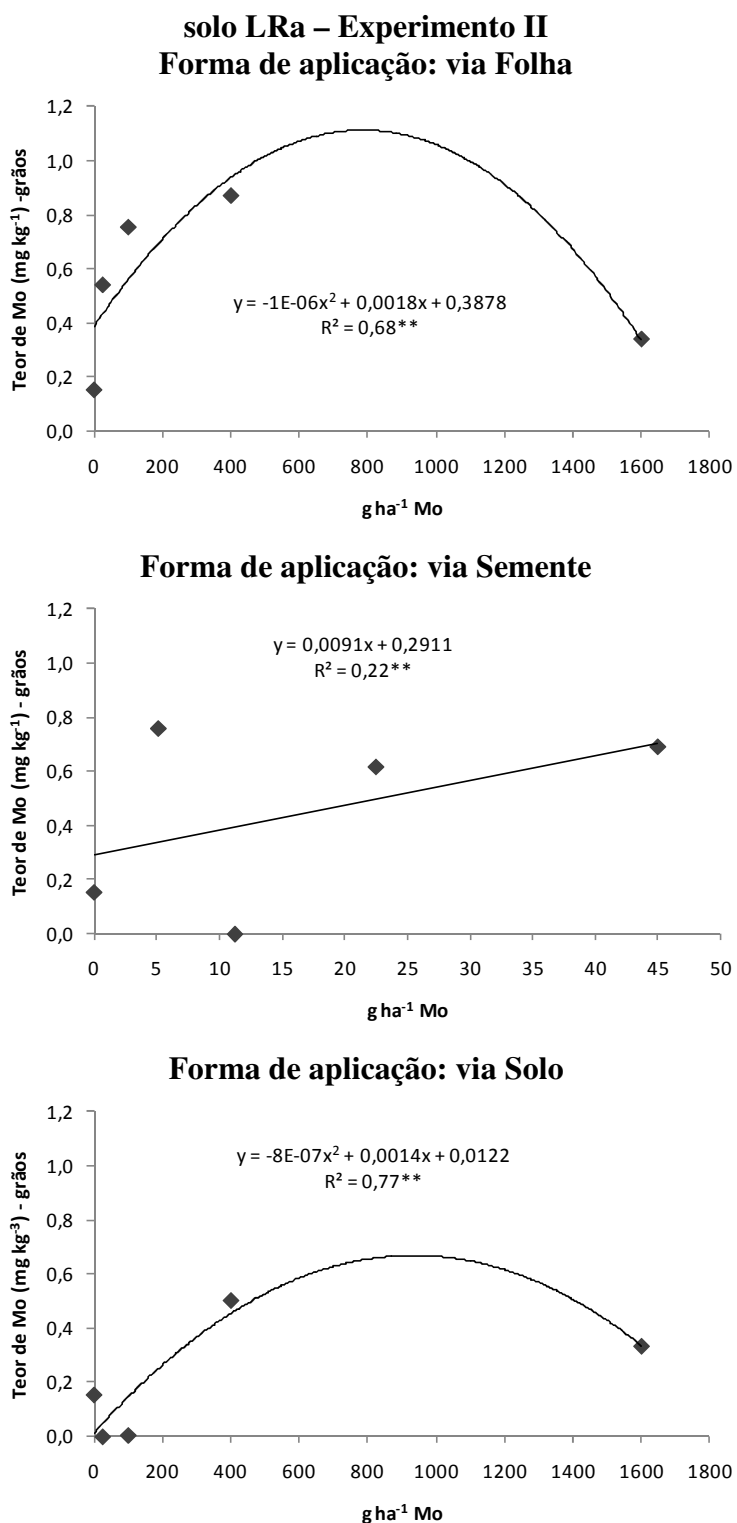


Figura 25. Teor de molibdênio nos grãos de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 29. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no caule de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) caule - Experimento I					
	solo RL			solo LRa		
	Folha	Semente	solo	Folha	semente	solo
Reg.linear	0,010 ^{ns}	0,608 ^{ns}	0,868 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,231 ^{ns}	0,907 ^{ns}
Reg.quadrática	0,925 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,293 ^{ns}	0,982 ^{ns}	2,232 ^{ns}	5,335*

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 30. Resumo da análise de variância (valores de F) da fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no caule de milho para o solo RL e solo LRa, Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Variável analisada: teor de molibdênio (mg kg ⁻¹) caule - Experimento II					
	solo RL			solo LRa		
	Folha	Semente	Solo	Folha	semente	solo
Reg.linear	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	2,329 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,392 ^{ns}	44,983**
Reg.quadrática	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,141 ^{ns}	0,000 ^{ns}	14,197**	2,304 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Pode-se observar nas Figuras 26 e 27, que o teor de molibdênio no caule de milho foi ainda mais baixo do que o observado nos grãos. Gupta (1997), afirma que no caule a deficiência de molibdênio situa-se abaixo de 0,11 mg kg⁻¹.

Verifica-se na Figura 26 que em todas as doses o teor de molibdênio no caule esteve acima do limite de deficiência relatado por Gupta (1997). O ajuste quadrático indica a dose de 502,5 g ha⁻¹ como sendo a que proporcionou maior teor de molibdênio no caule de milho cultivado no Experimento I.

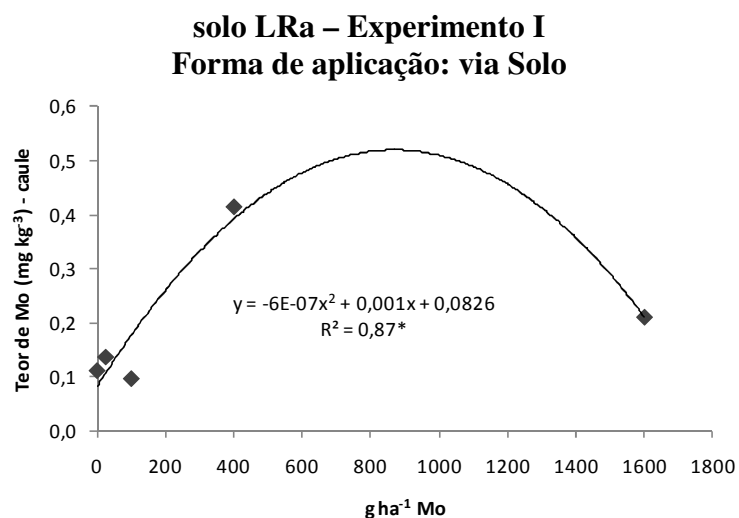


Figura 26. Teor de molibdênio no caule de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

*Significativo a 5% de probabilidade.

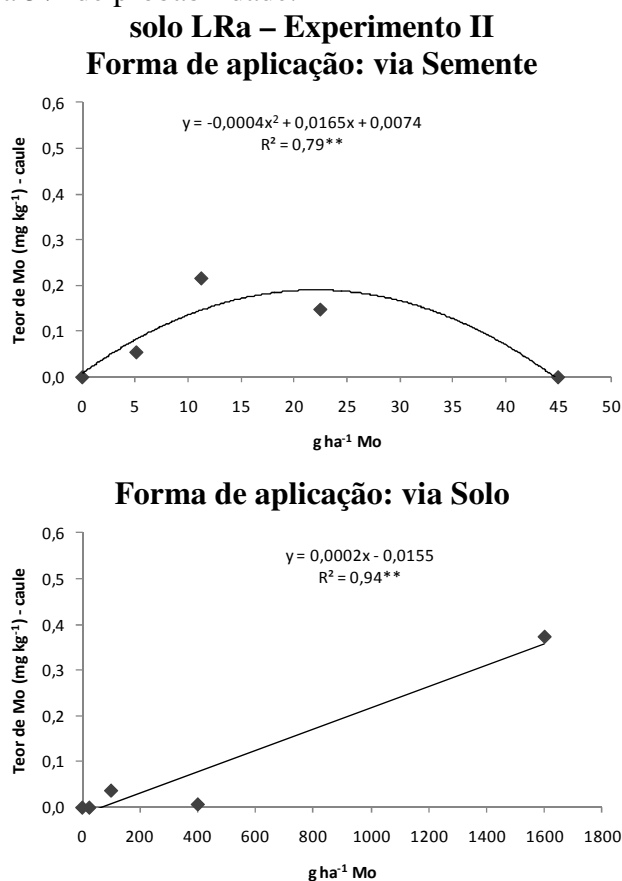


Figura 27. Teor de molibdênio no caule de milho no solo LRa em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

6.3.2.2 Experimento III

O resumo da análise de variância para as causas de variação repetição, coleta, forma de aplicação e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha de milho, no Experimento III, encontra-se na Tabela 31.

Verifica-se que o teor de molibdênio foi significativamente influenciado pela época de coleta, forma de aplicação e sua interação a 1% de probabilidade.

Tabela 31. Resumo da análise de variância (valores de F) para as fontes de variação: Repetição, Coleta (C), Forma de Aplicação (FA) e suas interações para a variável teor de molibdênio na folha, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada: teor de molibdênio na folha
	mg kg ⁻¹
Repetição	3,537 ^{ns}
C	71,198**
FA	85,560**
C*FA	85,560**
CV%	15,31

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Tabela 32 é apresentado o desdobramento do teste de médias do teor de molibdênio em milho para a interação entre a época de coleta e a forma de aplicação.

Na 1ª coleta ainda não havia sido realizada a aplicação foliar, sendo esse o motivo da não apresentação do teor de molibdênio nesse tratamento. Entre as formas de aplicação semente e solo, na 1ª coleta, verifica-se maior teor de molibdênio quando a aplicação foi realizada via semente. Fato semelhante também verificado na 2ª coleta, onde a aplicação via semente foi superior a aplicação via solo e via foliar. Já na 3ª coleta, pendoamento, a forma de aplicação que apresentou maior teor de molibdênio foi via solo, sendo estatisticamente superior àquela via semente e via folha.

O volume de solo abrangido pelas raízes seminais, que são as que absorvem água e nutrientes no desenvolvimento inicial da plântula de milho, é pequeno. Esse motivo é a provável explicação para o menor teor de molibdênio nas formas de aplicação via solo e via folha nas duas primeiras coletas. O inverso, observado na coleta ocorrida na fase de

pendoamento, sugere que com o desenvolvimento das plantas, as raízes, ocupando maior volume de solo, absorveram o molibdênio aplicado no solo. Além disso, percebe-se que o teor de molibdênio na 3ª coleta na forma de aplicação via semente, foi inferior às duas coletas anteriores, indicando possível utilização do molibdênio absorvido no metabolismo da planta. Outra provável explicação é que essa redução tenha ocorrido pelo efeito diluição nas plantas.

Tabela 32. Desdobramento da interação Coleta*Forma de Aplicação para o teor de molibdênio (mg kg^{-1}) na folha de milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Forma de aplicação	Variável analisada: teor de molibdênio na folha (mg kg^{-1})		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª coleta
Folha	-	0,35 Bb	0,66 Aab
Semente	2,91 Aa	1,37 Ba	0,52 Cb
Solo	0,8 ABb	0,56 Bb	0,85 Aa

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Na Tabela 33 encontra-se o resumo da análise de variância para a regressão polinomial da dose de molibdênio, no Experimento III. Verifica-se que na 2ª coleta o teor de molibdênio não foi influenciado pela aplicação foliar e na 3ª coleta foi a aplicação via semente que não foi influenciou significativamente o teor de molibdênio nas folhas de milho.

Tabela 33. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio na folha de milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)								
	Variável analisada: Teor de molibdênio (mg kg^{-1}) – Experimento III								
	1ª coleta			2ª coleta			3ª coleta		
	folha	semente	solo	folha	Semente	solo	folha	semente	solo
Reg.linear	-	20,629**	5,936*	0,374 ^{ns}	14,008**	19,237**	4,433*	1,073 ^{ns}	8,672**
Reg.quadrática	-	10,285**	0,617 ^{ns}	0,228 ^{ns}	24,459**	7,719**	0,004 ^{ns}	0,164 ^{ns}	2,134 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

O teor de molibdênio na 1ª coleta encontra-se na Figura 28. Para o método de aplicação via semente, a curva de regressão que obteve melhor ajuste, dado pelo maior valor do R^2 , foi a quadrática, sendo este o modelo apresentado. Pode-se observar,

através da equação, que a dose de 32,6 g ha⁻¹ é a que proporcionou maior teor de molibdênio na folha de milho aplicado via semente, na 1^o coleta. Já na forma de aplicação via solo, a significância se deu para a regressão linear, sendo verificado aumento do teor de molibdênio com o aumento da dose aplicada via solo.

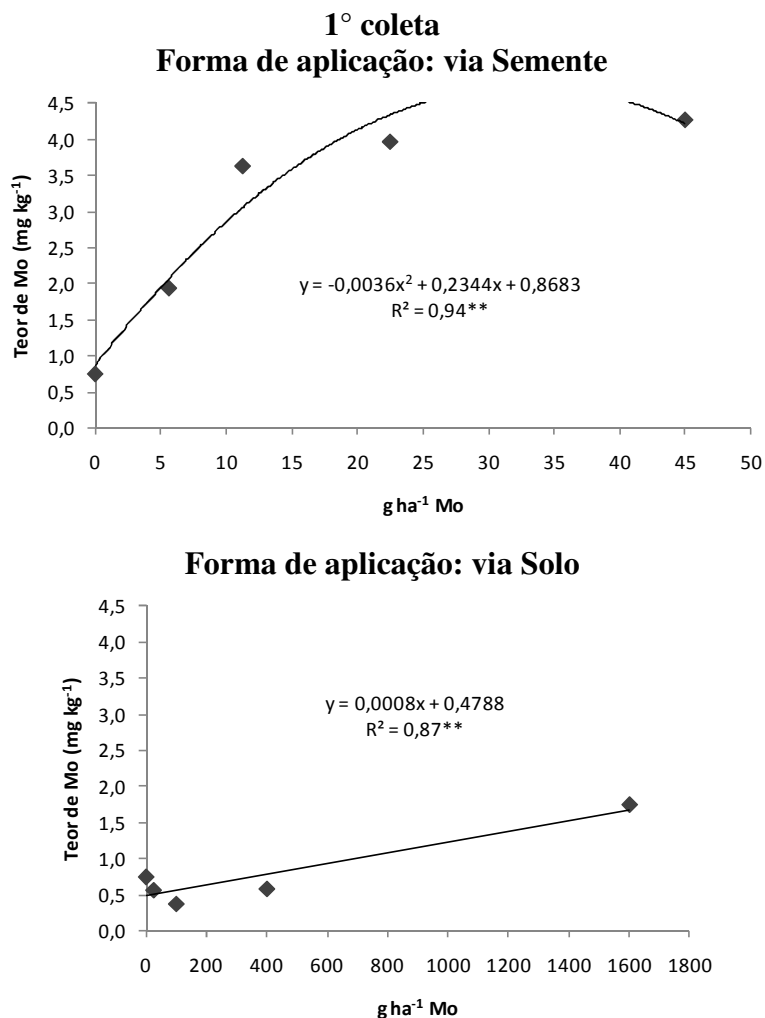


Figura 28. Teor de molibdênio na folha de milho na 1^a coleta em função do molibdênio aplicado (g ha⁻¹) via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.

**Significativo a 1% de probabilidade.

Para o teor de molibdênio, nas folhas de milho, avaliado na 2^o coleta (Figura 29), notou-se que tanto na aplicação via semente quanto na aplicação via solo, o maior valor do coeficiente de determinação em ambas foi obtido pela regressão quadrática.

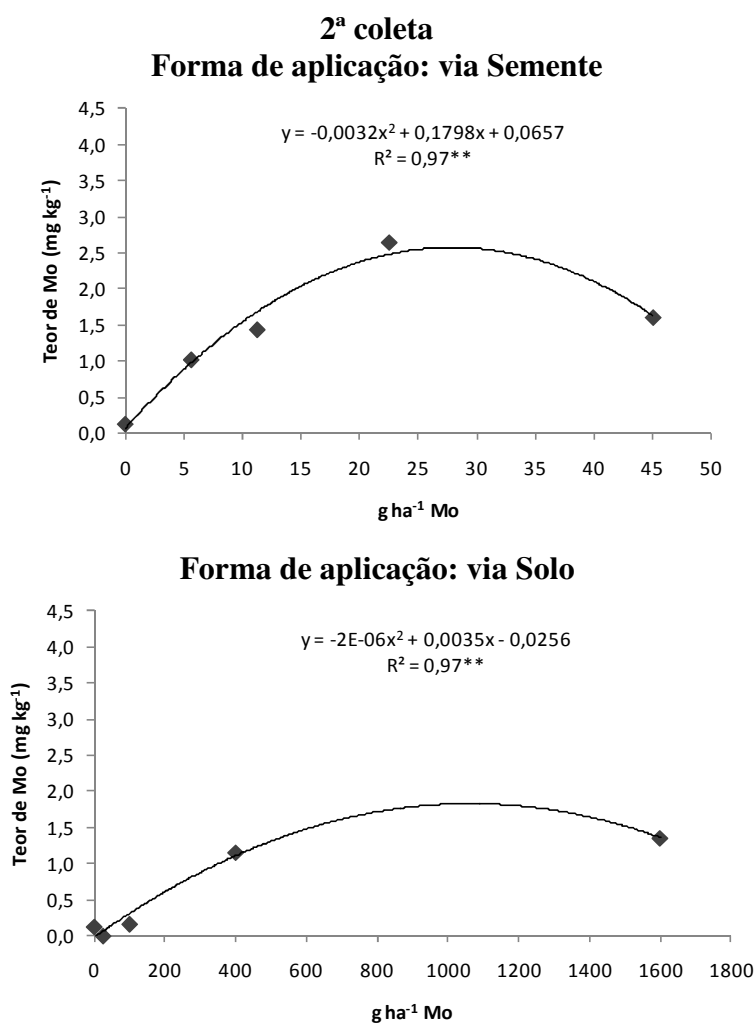


Figura 29. Teor de molibdênio na folha de milho na 2ª coleta em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.
**Significativo a 1% de probabilidade.

Na 3ª coleta (Figura 30) verificou-se comportamento linear na forma de aplicação via folha e via solo.

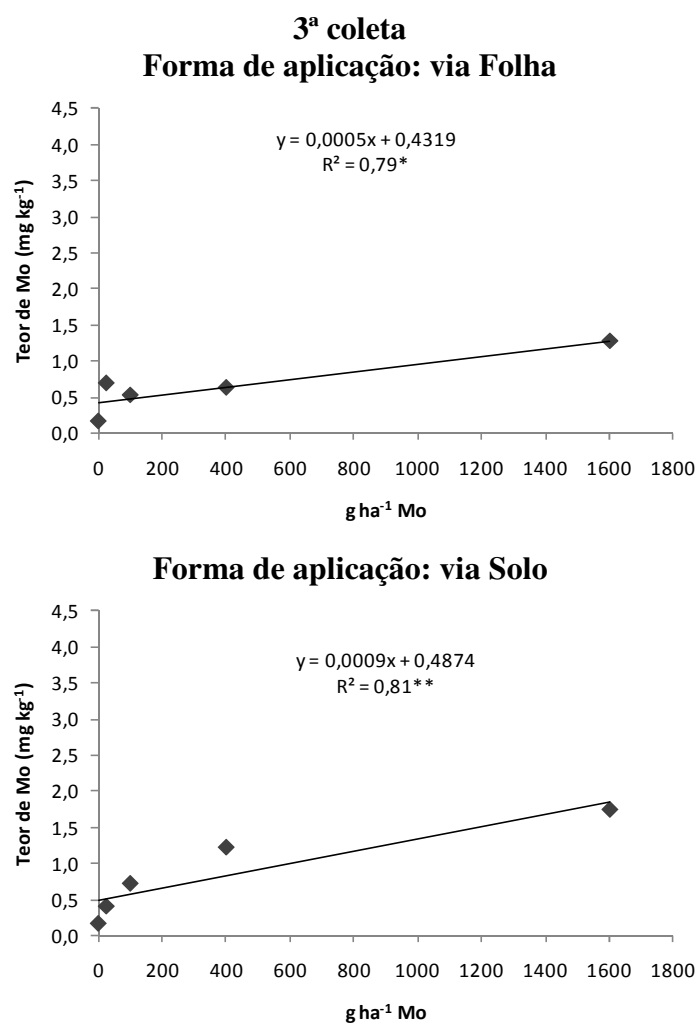


Figura 30. Teor de molibdênio na folha de milho na 3ª coleta em função do molibdênio aplicado (g ha^{-1}) via folha e via solo. Botucatu-SP, 2010.

**Significativo a 1% de probabilidade.

6.3.3 Atividade da enzima nitrato redutase

6.3.3.1 Experimento III

Na Tabela 34 é apresentado o desdobramento do teste de médias da atividade da enzima nitrato redutase ($\mu\text{mol nitrito g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) para a interação entre a época de coleta e a forma de aplicação. Verifica-se, que houve significância apenas para as épocas de coleta, sendo a atividade da nitrato redutase diminuída com o desenvolvimento das plantas de milho nas três formas de aplicação.

Tabela 34. Desdobramento da interação Coleta*Forma de Aplicação para a atividade da enzima nitrato redutase ($\mu\text{mol nitrito g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em milho, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Forma de aplicação	Coleta		
	1°	2°	3°
	$\mu\text{mol nitrito g}^{-1} \text{ h}^{-1}$		
Folha	-	12,47 Aa	0,28 Ba
Semente	42,74 Aa	12,45 Ba	0,47 Ca
Solo	42,95 Aa	12,27 Ba	0,57 Ca

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. CV (%) = 12,57.

A enzima nitrato redutase está associada ao metabolismo do nitrogênio devido a primeira etapa do processo de assimilação do nitrogênio ocorre com a redução do nitrato em nitrito no citoplasma, reação esta, mediada pela nitrato redutase (RÖMHELD (2001); OAKS (1994). Por essa razão, espera-se que a atividade dessa enzima seja maior no período de maior demanda de nitrogênio pela planta de milho. Esse período encontra-se na fase vegetativa. Magalhães (2003) relata que aproximadamente 65% do N é absorvido pela planta de milho durante a fase vegetativa. Andrade et al. (1975) verificaram que, no estágio de florescimento, aproximadamente 2/3 do nitrogênio já havia sido assimilado nas plantas de maneira praticamente linear com o tempo.

No presente estudo a primeira coleta foi efetuada quando a planta de milho encontrava-se com 3 folhas completamente desenvolvidas, estágio que ocorre aproximadamente duas semanas após o plantio (MAGALHÃES, 2003). A segunda coleta realizada quando a planta de milho apresentava 6 folhas completamente desenvolvidas, estágio que ocorre no segundo mês de cultivo. Já a última coleta foi efetuada na fase de pendramento, quando o último ramo do pendão estava completamente visível, conforme Magalhães (2003). Segundo Malavolta (1981), a absorção de N em milho, em relação à percentagem total, oscila em torno de 8% no 1° mês, 50% no 2° mês, 28% no 3° mês e 14% no 4° mês. Considerando essa referência, imaginava-se que, no presente estudo, a maior atividade enzimática ocorreria na segunda coleta. Entretanto, foi verificada maior atividade na primeira coleta. Borges et al (2006), avaliando a atividade da nitrato redutase em variedades de milho, obtiveram resultados coerentes com os verificados no presente estudo. Os referidos autores perceberam drástica redução da atividade da nitrato redutase do primeiro para o segundo mês de cultivo, sendo

esses resultados atribuídos ao aumento do teor de açúcar solúvel na parte aera das plantas de milho no segundo mês.

Entre as formas de aplicação via folha, semente ou solo, não foram detectadas diferenças significativas entre elas em nenhuma das coletas, indicando que a forma de aplicação não tem influência na atividade da enzima nitrato redutase.

Na Tabela 35 encontra-se o resumo da análise de variância para a regressão polinomial da atividade da enzima nitrato redutase em função das doses de molibdênio. Percebe-se que apenas na terceira coleta (pendoamento) não houve ajuste para os modelos analisados.

Tabela 35. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável atividade da enzima nitrato redutase, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)								
	Variável analisada: Nitrato redutase ($\mu\text{mol nitrito g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)								
	1° coleta			2° coleta			3° coleta		
	folha	semente	Solo	folha	semente	solo	folha	semente	solo
Reg.linear	-	7,331**	26,920**	24,756**	18,209**	0,007 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,977 ^{ns}
Reg.quadrática	-	0,165 ^{ns}	0,453 ^{ns}	6,731**	1,475 ^{ns}	13,403**	0,063 ^{ns}	0,925 ^{ns}	0,165 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

É apresentado na Figura 31 regressão da atividade da enzima nitrato redutase na 1ª coleta em função da dose de molibdênio aplicada via semente e via solo. Verifica-se que ambas as formas de aplicação obtiveram ajuste linear significativo a 1%, sendo, entretanto, positivo apenas para a forma de aplicação via semente.

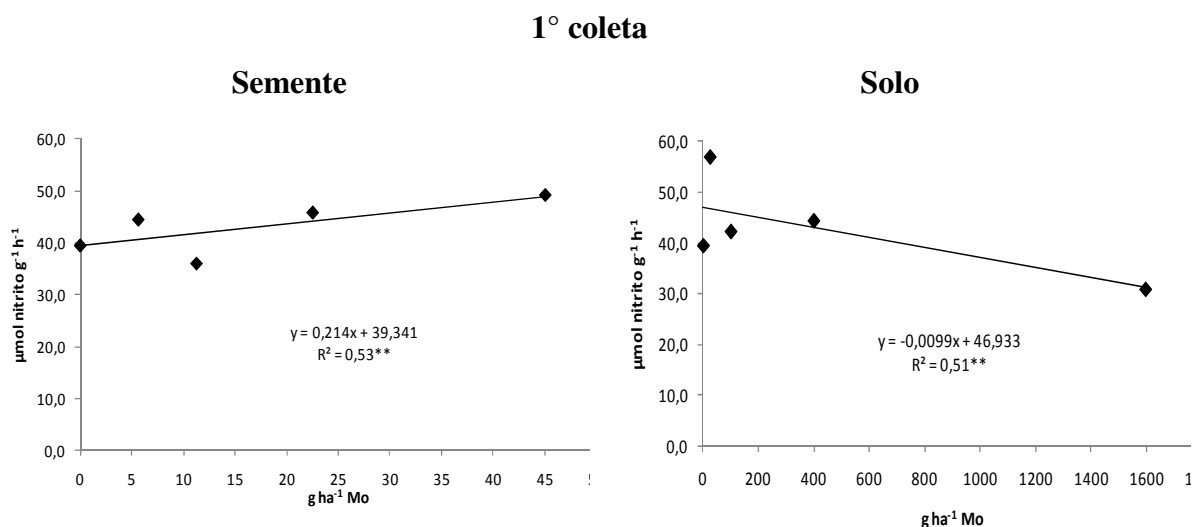


Figura 31. Atividade da nitrato redutase em milho na 1ª coleta em função da dose de molibdênio (g ha^{-1}) aplicado via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Na 2ª coleta (Figura 32) verifica-se que na forma de aplicação foliar, apenas na maior dose de molibdênio a atividade enzimática foi maior que a testemunha sem molibdênio. Já para as formas de aplicação via semente e solo as doses que proporcionaram a maior atividade da nitrato redutase foi 1,91 e 831,50 g ha^{-1} , respectivamente. Esses valores comprovam, como já relatado anteriormente, a maior eficiência de utilização do molibdênio quando fornecido via semente.

Vale ressaltar que Molibdo-enzimas, como a nitrato redutase, constituem o maior reservatório do molibdênio absorvido, entretanto, sob condições de excesso, o molibdênio pode ser armazenado nos vacúolos das células periféricas das plantas (HALE et al., 2001). Fato que pode ser a explicação para a redução da atividade da nitrato redutase como o observado na forma de aplicação via semente e via solo.

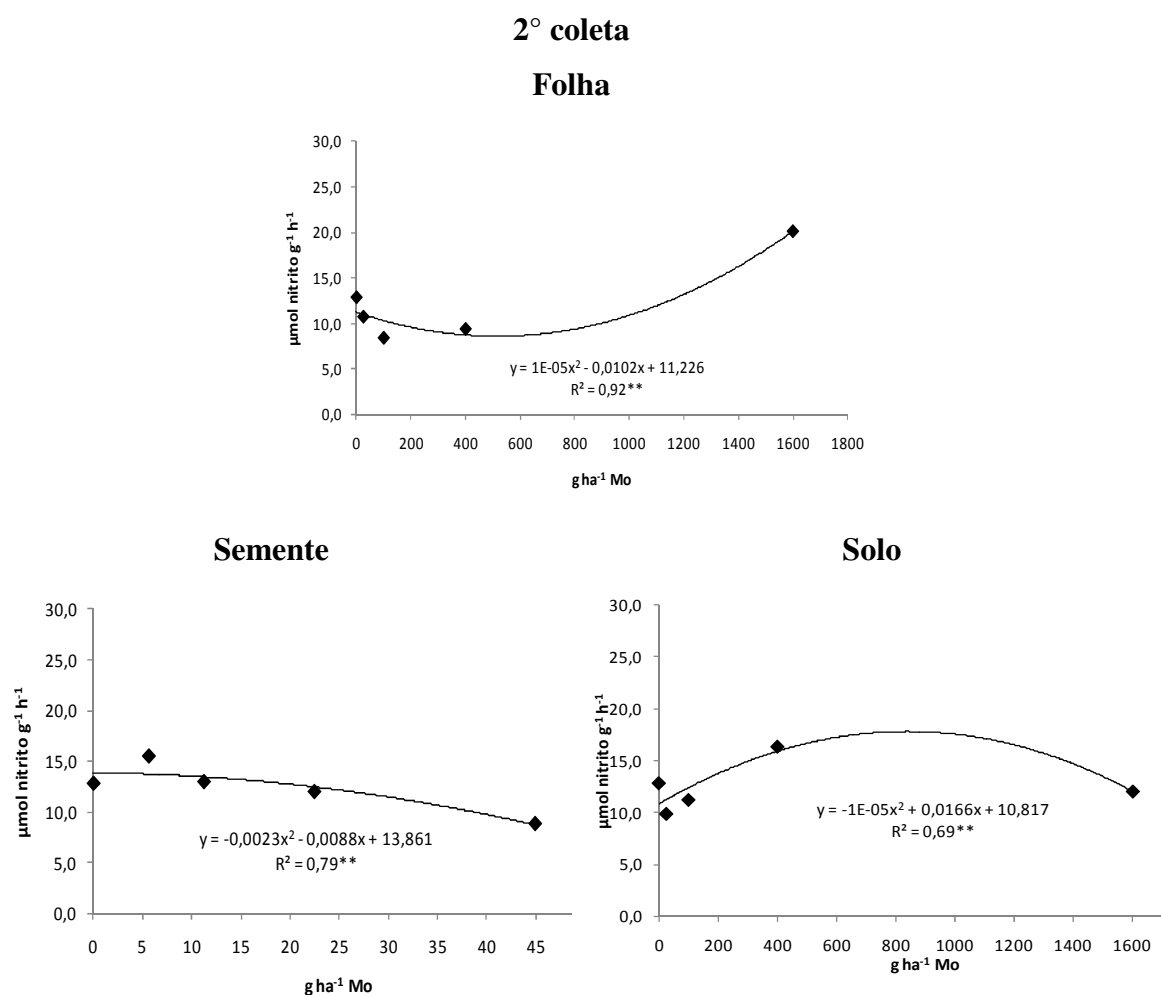


Figura 32. Atividade da nitrato redutase em milho na 2^a coleta em função da dose de molibdênio (g ha^{-1}) aplicado via folha, via semente e via solo. Botucatu-SP, 2010.
** Significativo a 1% de probabilidade.

6.3.4 Atributos químicos do solo

Na Tabela 36 são apresentados os atributos químicos do solo LRa e solo RL nos Experimentos I e II; e do solo RL no Experimentos III, no estágio de florescimento do milho.

Tabela 36. Atributos químicos do solo LRa e solo RL, nos Experimentos I, II e III, no estágio de florescimento do milho. Botucatu-SP, 2010.

Solo	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						%	mg dm ⁻³
Experimento I											
LRa	5,7	25,3	19,8	29,8	0,8	46,3	17,5	64,8	94,5	68,3	128,5
RL	5,4	8,3	26,8	15,8	0,7	23,3	5,8	30,0	45,8	65,3	102,3
Experimento II											
LRa	4,1	28,7	11,3	87,7	0,6	6,0	1,7	8,0	95,3	8,3	53,3
RL	4,1	8,3	21,3	30,7	0,4	12,3	1,3	14,0	44,7	31,3	74,3
Experimento III											
RL	6,0	13,3	17,0	14,5	1,4	30,8	14,5	46,5	61,0	76,5	15,8
Solo	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
					mg dm ⁻³						
Experimento I											
LRa	0,4		6,9		10,8		5,2		0,6		
RL	0,3		1,2		11,3		6,8		1,4		
Experimento II											
LRa	0,3		7,5		17,0		5,0		1,4		
RL	0,3		1,4		22,0		11,5		1,5		
Experimento III											
RL	0,2		3,8		15,8		20,7		0,6		

6.3.4.1 Molibdênio no solo

O cálculo do teor de molibdênio no solo no estágio de florescimento do milho foi realizado considerando as equações lineares das Figuras 11 e 12, como descrito no item 6.2.2.2.2.

Na Tabela 37 é apresentado o resumo da análise de variância referente ao teor de molibdênio no solo nos Experimentos I e II. Não foram detectadas diferenças significativas entre os solos. Na análise preliminar, verificado na Tabela 19, foi possível observar que o solo RL apresentou teor médio de molibdênio no solo significativamente superior ao do solo LRa, com calagem (Experimento I) e sem calagem (Experimento II), sendo essas diferenças não mais detectadas após o cultivo do milho.

Tabela 37. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição e Solo (S); referente ao teor de molibdênio no solo, nos Experimentos I e II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada: teor de molibdênio no solo	
	Experimento I	Experimento II
Repetição	0,921 ^{ns}	0,509 ^{ns}
S	0,914 ^{ns}	0,834 ^{ns}
CV (%)	4,39	5,55

^{ns} Não significativo (p >= 0,05).

Em relação a Tabela 38, na qual é apresentado o resumo da análise de variância para a causa de variação dose para o teor de molibdênio nos Experimentos I, II e III, nota-se que foi detectado ajuste linear significativo para o Experimento I, no solo LRa, e no Experimento III.

Tabela 38. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para a variável teor de molibdênio no solo, nos Experimentos I, II e III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)				
	Experimento				III
	I	II	I	II	
	Solo RL		Solo LRa		
Reg.linear	0,006 ^{ns}	0,066 ^{ns}	8,439**	0,206 ^{ns}	5,939*
Reg.quadrática	0,000 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,496 ^{ns}	0,205 ^{ns}	0,045 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01); * Significativo a 5% de probabilidade (0,01 <= p < 0,05);

^{ns} Não significativo (p >= 0,05).

Nas Figuras 33 e 34 verifica-se o teor de molibdênio determinado no solo LRa, no Experimento I, e no Experimento III (solo RL), respectivamente. Percebe-se no solo LRa, que só foi detectado o molibdênio aplicado na dose 1600 g ha⁻¹, com valor próximo a 0,08 mg dm⁻³ de molibdênio, sendo nas demais doses verificados valores próximos a 0,0 mg dm⁻³ de molibdênio (Figura, 33).

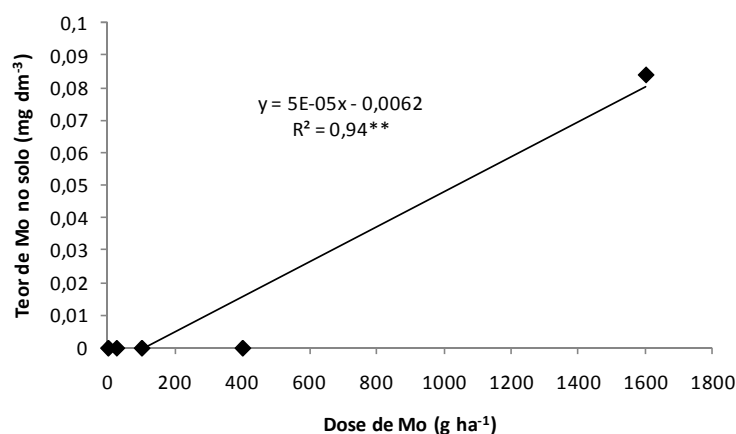


Figura 33. Teor de molibdênio no solo LRa (mg dm⁻³) em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 34, nota-se que o teor de molibdênio na dose 1600 g ha⁻¹ foi cerca 10 vezes menor do que aquela verificada no solo LRa, na Figura 33. Considerando-se que as doses aplicadas no solo corresponderam a 0,0; 0,01; 0,05; 0,2 e 0,8 mg dm⁻³ de molibdênio, a diferença observada entre o que foi aplicado e o que foi analisado no final do experimento pode ser atribuída a absorção pela planta de milho.

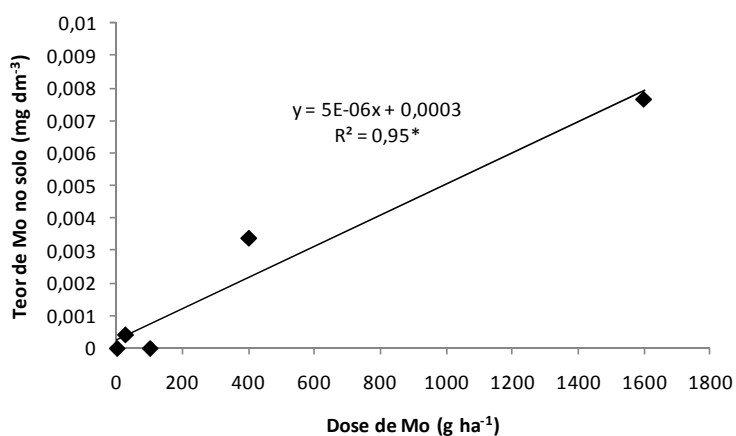


Figura 34. Teor de molibdênio no solo (mg dm⁻³) em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

6.3.4.2 Teor de molibdênio na planta X Teor de molibdênio no solo

Nas Figuras 35 e 36 são apresentados os estudos de correlação de Pearson entre o teor de molibdênio na folhas de milho e o teor de molibdênio no solo LRa e RL nos Experimentos I e II, respectivamente. Vale ressaltar que o teor de molibdênio determinado na planta corresponde ao teor de molibdênio na folha diagnose de milho na forma de aplicação via solo.

Essa análise é de fundamental importância para

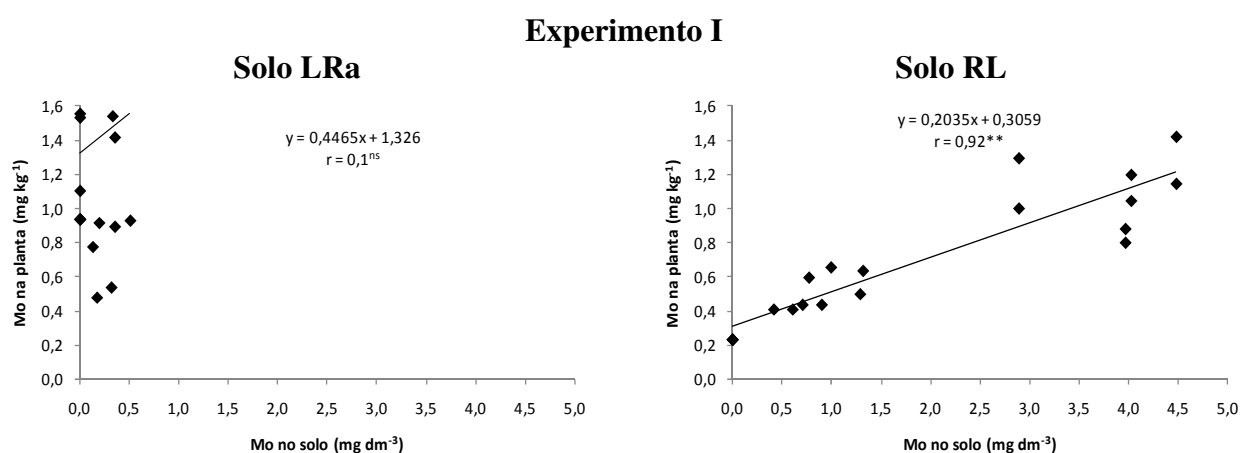


Figura 35. Correlação de Pearson entre o teor de molibdênio determinado na planta e o teor de molibdênio determinado no solo, no Experimento I, para os solos LRa e RL.

** Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

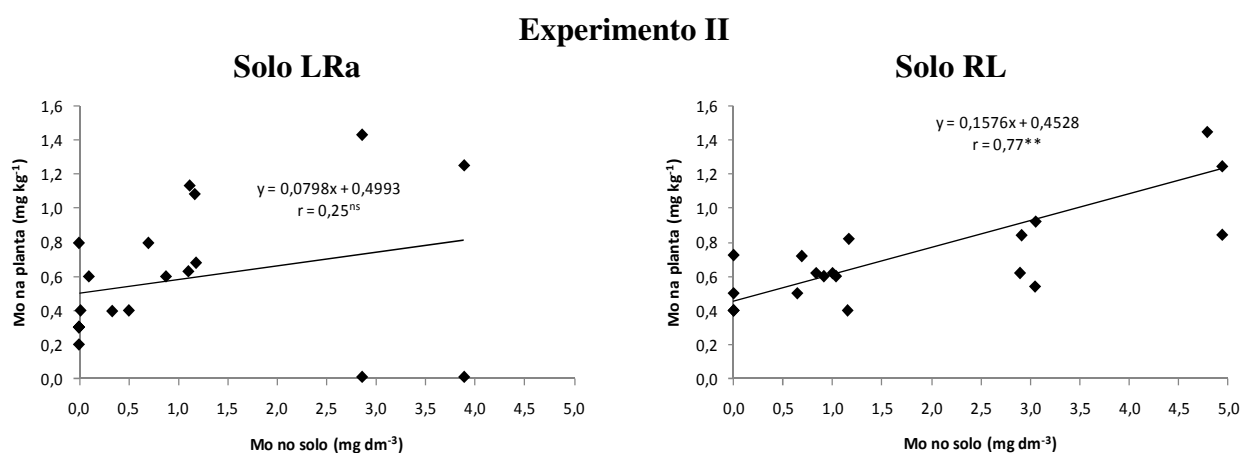


Figura 36. Correlação de Pearson entre o teor de molibdênio determinado na planta e o teor de molibdênio determinado no solo, no Experimento II, para os solos LRa e RL.

** Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

6.3.5 Componentes morfológicos

6.3.5.1 Experimento I

Na Tabela 39 é apresentado o resumo da análise de variância dos componentes morfológicos índice de área foliar, altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo do milho cultivado no Experimento I.

Observa-se que apenas os componentes índice de área foliar e diâmetro do colmo apresentaram significância para uma ou mais fonte de variação avaliada, sendo o primeiro significativo quanto ao tipo de solo e na interação entre os solos e formas de aplicação; e o segundo significativo para o tipo de solo e para as formas de aplicação.

Tabela 39. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações, referente aos componentes morfológicos índice de área foliar (IAF), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e diâmetro do colmo, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada			
	IAF	AP	AIE	DC
Repetição	2,390 ^{ns}	2,350 ^{ns}	2,860 ^{ns}	0,115 ^{ns}
S	127,413**	2,029 ^{ns}	0,059 ^{ns}	18,523**
FA	2,380 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,729 ^{ns}	4,624*
S*FA	3,119*	0,081 ^{ns}	0,418 ^{ns}	1,524 ^{ns}
CV%	11,59	10,93	9,19	6,62

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

O desdobramento da interação solo*forma de aplicação para o índice de área foliar encontra-se na Tabela 40. Percebe-se, na comparação entre os solos, que as plantas cultivadas no solo LRa apresentaram maior índice de área foliar nas três formas de aplicação. Fato que pode ser explicado provavelmente pelo maior teor nutricional das plantas cultivadas no solo LRa (Tabelas 21 e 22) e maior teor inclusive de molibdênio (Figura 13).

Tabela 40. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para o índice de área foliar, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Solo	Forma de aplicação		
	Folha	Semente	Solo
RL	5,48 Ab	5,44 Ab	5,20 Ab
LRa	7,09 Aa	6,45 Ba	6,95 Aab

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. DMS linha = 0,53; DMS coluna = 0,44

O resultado referente a significância para o tipo de solo do componente diâmetro do colmo encontra-se na Figura 37. Assim como o componente índice de área foliar, citado anteriormente, o diâmetro do colmo foi significativamente superior no solo LRa. O nutriente que provavelmente teve principal influência benéfica para esses componentes morfológicos foi o nitrogênio, pois, é largamente difundida a importância desse nutriente no desenvolvimento vegetativo, principalmente na cultura do milho. O teste de médias para o diâmetro do colmo (mm) entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento I, encontra-se na Figura 38.

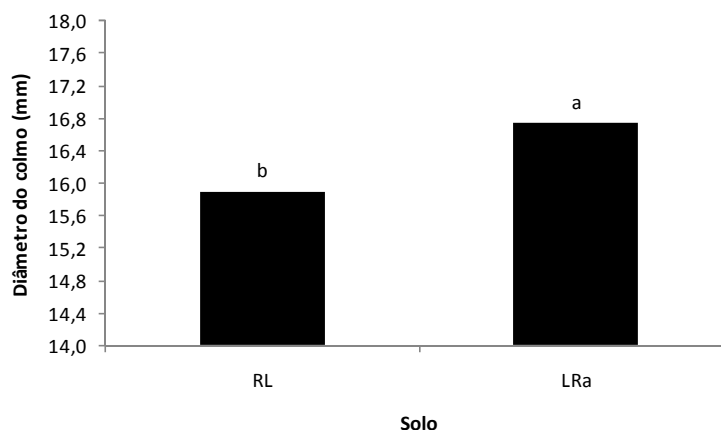


Figura 37. Teste de médias para o diâmetro do colmo (mm) entre o solo RL e o solo LRa, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

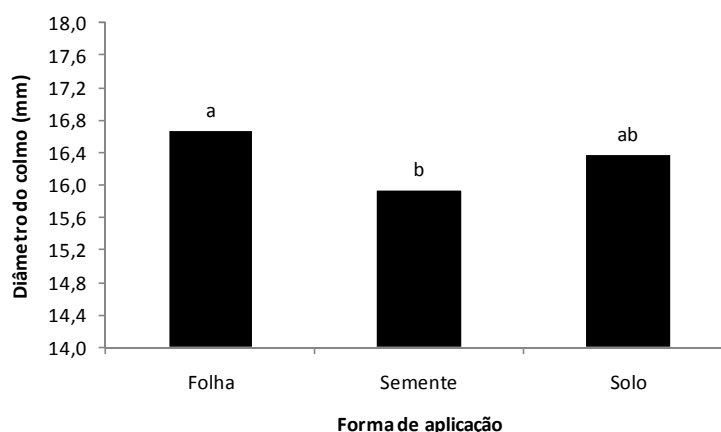


Figura 38. Teste de médias para o diâmetro do colmo (mm) entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento I. Botucatu- SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Na Tabela 41 é apresentado o resumo da análise de variância para a causa de variação Dose para as variáveis índice de área foliar, altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho para o solo RL e solo LRA, nas três formas de aplicação, no Experimento I.

Observa-se que os componentes morfológicos avaliados, com exceção da altura de plantas, apresentaram ajuste significativo às doses de molibdênio aplicadas em pelo menos um dos tratamentos. A ausência de significância à dose de molibdênio para a altura de plantas também foi constatado por Ferreira et al. (2001), Pereira (1997) e Ferreira (1997). Resultado contrário foi obtido por Teixeira (2006) que verificou que a altura de plantas foi afetada significativamente pela aplicação das doses de molibdênio foliar, onde a dose de 420 g ha^{-1} proporcionou altura máxima das plantas.

Tabela 41. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis índice de área foliar, altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho para o solo RL e solo LRa, nas três formas de aplicação, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	solo RL			solo LRa		
	via folha	via semente	via solo	via folha	via semente	via solo
Variável analisada: Índice de área foliar						
Reg.linear	0,229 ^{ns}	0,038 ^{ns}	6,112*	0,871 ^{ns}	2,012 ^{ns}	0,032 ^{ns}
Reg.quadrática	0,523 ^{ns}	0,009 ^{ns}	1,609 ^{ns}	4,892*	0,673 ^{ns}	0,226 ^{ns}
Variável analisada: Altura de plantas						
Reg.linear	1,388 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,187 ^{ns}	0,288 ^{ns}	0,082 ^{ns}	1,258 ^{ns}
Reg.quadrática	0,013 ^{ns}	0,233 ^{ns}	0,485 ^{ns}	2,236 ^{ns}	0,252 ^{ns}	0,010 ^{ns}
Variável analisada: Altura de inserção de espigas						
Reg.linear	0,670 ^{ns}	0,599 ^{ns}	3,263 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,623 ^{ns}
Reg.quadrática	1,883 ^{ns}	4,825*	1,918 ^{ns}	1,627 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,855 ^{ns}
Variável analisada: Diâmetro do colmo						
Reg.linear	0,345 ^{ns}	0,422 ^{ns}	0,591 ^{ns}	0,005 ^{ns}	1,747 ^{ns}	4,800*
Reg.quadrática	1,072 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,001 ^{ns}	6,467*	0,773 ^{ns}	0,117 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Figura 39 é apresentado o efeito das doses de molibdênio na altura de inserção da espiga (aplicação via semente) e no índice de área foliar (aplicação via solo) para o cultivo no solo RL.

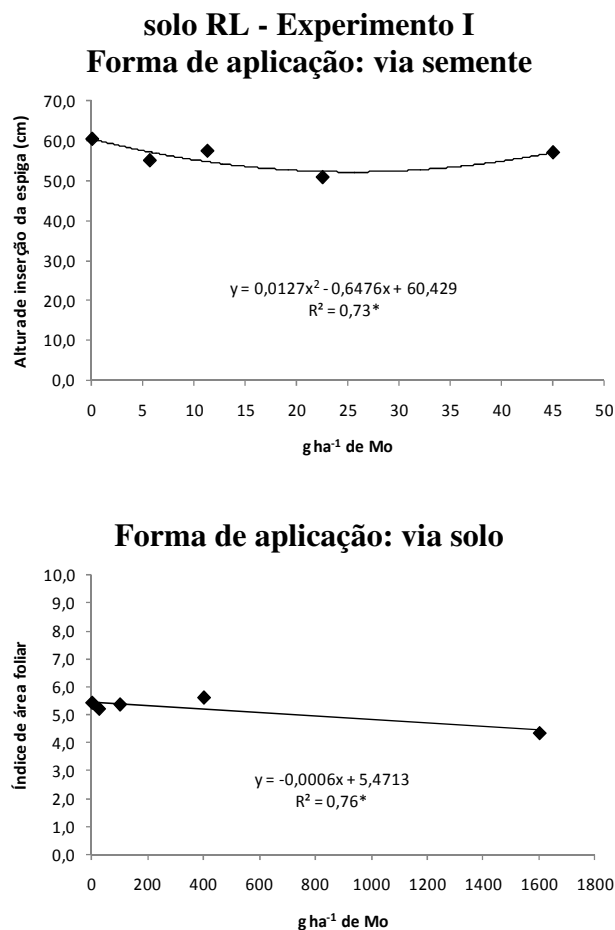


Figura 39. Altura de inserção da espiga, da forma de aplicação via semente; e Índice de área foliar, da forma de aplicação via solo, no solo RL, no Experimento I, em função da dose de molibdênio. Botucatu-SP, 2010.

*Significativo a 5% de probabilidade.

O efeito das doses de molibdênio no solo LRa, no Experimento I, é apresentado na Figura 40. Na forma de aplicação via folha, verifica-se ajuste quadrático para os componentes índice de área foliar e diâmetro do colmo, sendo as doses que representaram os maiores resultados foi de 734 e 912 g ha⁻¹ de molibdênio, respectivamente. Já na forma de aplicação via solo foi verificado ajuste linear positivo para o componente diâmetro do colmo.

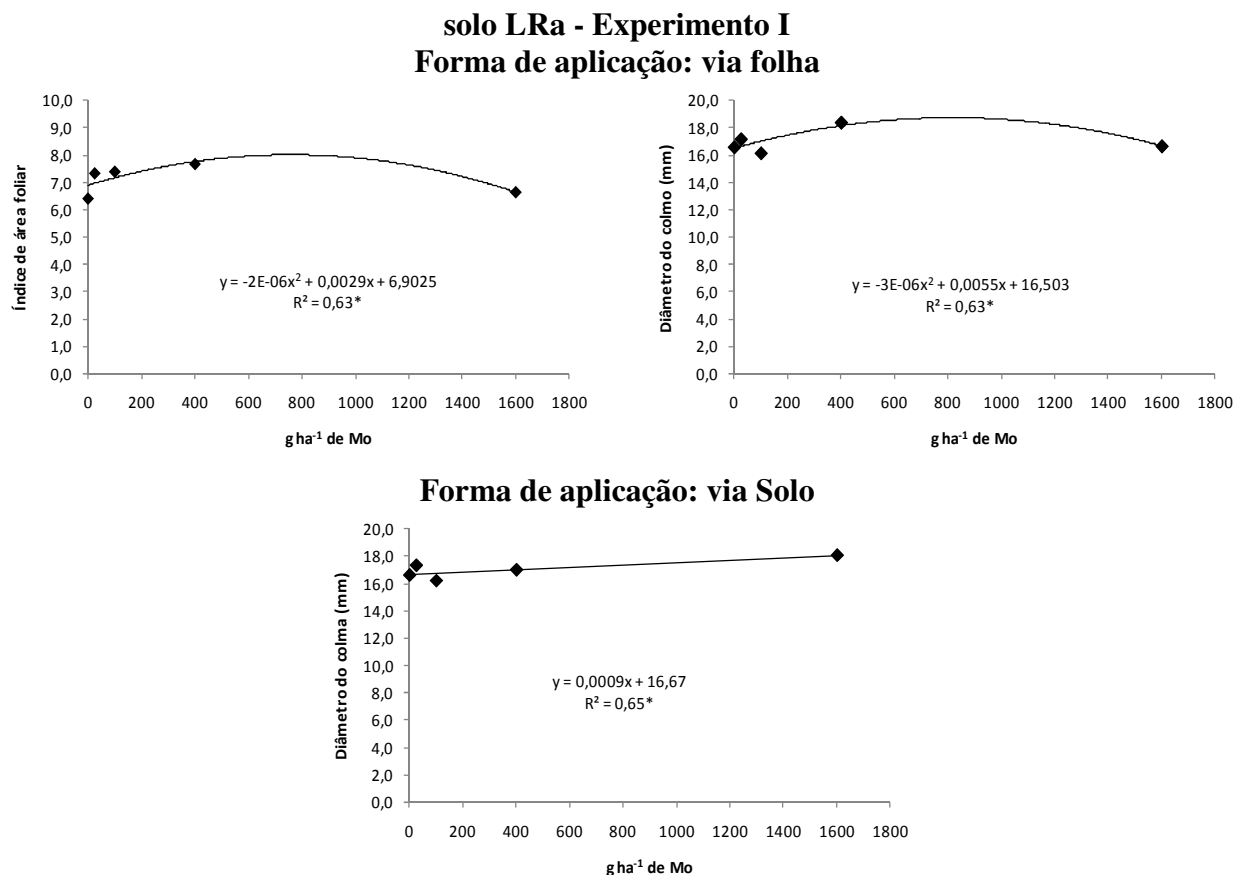


Figura 40. Índice de área foliar e Diâmetro do colmo, da forma de aplicação via folha; e Diâmetro do colmo, da forma de aplicação via solo, no solo LRa, no Experimento I, em função da dose de molibdênio. Botucatu-SP, 2010.

*Significativo a 5% de probabilidade.

6.3.5.2 Experimento II

Na Tabela 42 é apresentado o resumo de resumo da análise de variância dos componentes morfológicos altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo do milho cultivado no Experimento II. Percebe-se que apenas o diâmetro do colmo não apresentou diferença significativa para as fontes de variação avaliadas.

Tabela 42. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente aos componentes morfológicos altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga (AIE) e diâmetro do colmo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada		
	AP	AIE	DC
Repetição	0,563 ^{ns}	1,846 ^{ns}	0,099 ^{ns}
S	0,553 ^{ns}	6,057**	3,142 ^{ns}
FA	4,260*	2,49 ^{ns}	0,964 ^{ns}
S*FA	0,247 ^{ns}	0,461 ^{ns}	0,089 ^{ns}
CV%	14,78	17,99	12,36

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

No teste de médias para a variável altura de plantas entre as formas de aplicação de molibdênio, apresentado na Figura 41, observa-se diferença estatística entre a forma de aplicação foliar e a forma de aplicação via solo.

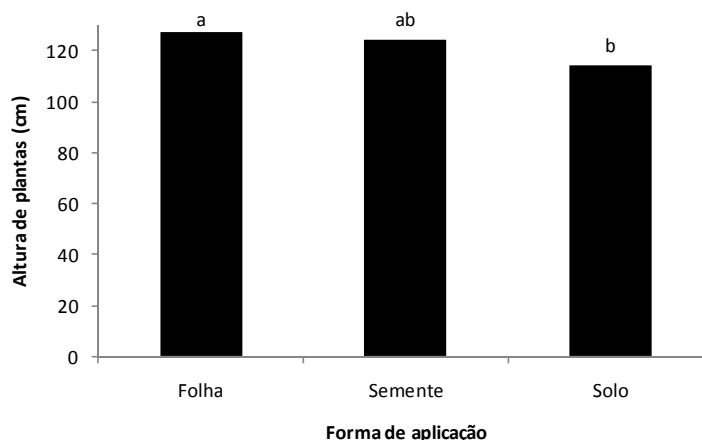


Figura 41. Teste de médias para a altura de plantas (cm) entre as formas de aplicação via folha, via semente e via solo, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Entre os solos, a altura de inserção de espiga foi superior no solo RL (Figura 42), mesmo esse solo sem calagem, tendo apresentado menores valores nutricionais na folha do que o solo LRa, assim como ocorreu no cultivo com calagem (Tabelas 21 e 22).

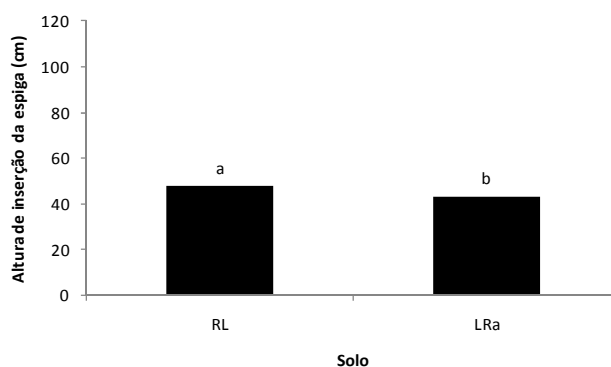


Figura 42. Teste de médias para a altura de inserção de espiga (cm) entre o solo RL e solo LRa, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010. Letras diferentes diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

Para a fonte de variação dose de molibdênio, as variáveis altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho não apresentaram significância em nenhum dos tratamentos (Tabela 43). Devido às ocorrências de deficiência de molibdênio serem mais pronunciadas em solos ácidos, conforme relatado por Adams (1990), esperava-se que nessas condições fossem obtidas maiores respostas das plantas à aplicação de molibdênio, o que não se confirmou em relação aos componentes morfológicos avaliados.

Tabela 43. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de milho para o solo RL e solo LRa, nas três formas de aplicação, no Experimento II. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	solo RL			solo LRa		
	folha	semente	solo	folha	semente	solo
Variável analisada: Altura de plantas						
Reg.linear	0,266 ^{ns}	0,427 ^{ns}	1,176 ^{ns}	0,305 ^{ns}	1,028 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Reg.quadrática	0,000 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,767 ^{ns}	1,704 ^{ns}	0,038 ^{ns}
Variável analisada: Altura de inserção de espigas						
Reg.linear	0,102 ^{ns}	2,337 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,058 ^{ns}	1,562 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Reg.quadrática	0,561 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,290 ^{ns}	0,607 ^{ns}	1,241 ^{ns}	0,088 ^{ns}
Variável analisada: Diâmetro do colmo						
Reg.linear	1,270 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,913 ^{ns}	0,793 ^{ns}
Reg.quadrática	0,157 ^{ns}	0,318 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,436 ^{ns}	1,873 ^{ns}	0,551 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

6.3.6 Massa seca relativa

6.3.6.1 Experimento I

Na Tabela 44 é apresentado o resumo da análise de variância referente a massa seca relativa das folhas, colmo, folhas+colmo, grãos, sabugo e espiga. Verificou-se efeito significativo de todas as variáveis para pelo menos uma fonte de variação e que apenas a massa seca relativa do sabugo não foi significativa para a interação solo versus forma de aplicação.

Tabela 44. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente a massa seca relativa das folhas, colmo, folhas+colmo, grãos, sabugo e espiga, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada					
	Folha	Caule	Folha+Caule	Grãos	Sabugo	Espiga
Repetição	1,710 ^{ns}	0,737 ^{ns}	0,551 ^{ns}	0,851 ^{ns}	1,071 ^{ns}	0,551 ^{ns}
S	58,620**	0,340 ^{ns}	1,311 ^{ns}	8,248**	31,914**	1,311 ^{ns}
FA	0,246 ^{ns}	0,892 ^{ns}	0,767 ^{ns}	0,749 ^{ns}	0,194 ^{ns}	0,767 ^{ns}
S*FA	3,438*	3,672*	4,688*	4,387*	1,136 ^{ns}	4,688*
CV%	10,79	17,1	12,82	10,97	13,88	9,78

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Os dados referentes ao desdobramento da interação solo*forma de aplicação para a massa seca relativa das folhas, caule, folha+caule, grãos e espigas encontram-se na Tabela 45. Verifica-se que no solo LRa, as formas de aplicação de molibdênio não se diferenciaram estatisticamente em nenhuma das variáveis avaliadas; já no solo RL não diferiram as formas de aplicação apenas na massa seca relativa das folhas.

Na comparação entre os dois solos, percebe-se a massa seca relativa das folhas foi superior no solo LRa, corroborando com os dados obtidos no componente morfológico índice de área foliar (Tabela 40). Entretanto, o maior desenvolvimento foliar não proporcionou maior acúmulo de massa nos grãos, onde se percebe não haver diferença

estatística nas formas de aplicação via folha e via solo e inferioridade na forma de aplicação via semente do solo LRa.

Tabela 45. Desdobramento da interação Solo*Forma de Aplicação para a massa seca relativa (%) das folhas, caule, folha+caule, grãos e espigas e diferença mínima significativa (DMS), no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

(DMS), no Experimento 1, Data de 31, 2010.					
Solo	Forma de aplicação			DMS	
	Folha	Semente	Solo	Coluna	Linha
Folha (%)					
RL	10,90 Ab	10,36 Ab	10,69 Ab	0,78	0,94
LRa	12,01 Aa	12,90 Aa	12,24 Aa		
Caule (%)					
RL	31,50 ABa	29,95 Ba	34,66 Ab	3,41	4,09
LRa	31,10 Aa	32,57 Aa	30,71 Aa		
Folha+Caule (%)					
RL	42,40 ABa	40,31 Bb	45,34 Aa	3,49	4,18
LRa	43,11 Aa	45,47 Aa	42,95 Aa		
Grão (%)					
RL	47,78 ABa	49,67 Aa	45,30 Ba	3,19	3,83
LRa	45,76 Aa	43,38 Ab	45,63 Aa		
Espiga (%)					
RL	57,60 ABa	59,69 Aa	54,56 Ba	3,49	4,18
LRa	56,89 Aa	54,53 Ab	57,05 Aa		

Médias seguidas da mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey.

No resumo da análise de variância para a causa de variação dose (Tabela 46) observa-se que apenas a massa seca relativa do sabugo não apresentou significância nos tratamentos avaliados; as demais variáveis apresentaram ajuste significativo, linear ou quadrático, em algum dos tratamentos.

Tabela 46. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis massa seca relativa das folhas, caule, grãos, sabugo e espiga de milho para o solo RL e solo LRa, nas três formas de aplicação, no Experimento I. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)					
	Solo RL			Solo LRa		
	folha	semente	solo	folha	semente	solo
Massa seca relativa de folhas						
Reg.linear	8,016**	0,672 ^{ns}	4,091*	2,188 ^{ns}	0,469 ^{ns}	4,095*
Reg.quadrática	0,027 ^{ns}	1,498 ^{ns}	0,160 ^{ns}	4,775*	16,156**	1,840 ^{ns}
Massa seca relativa de caule						
Reg.linear	0,048 ^{ns}	0,794 ^{ns}	3,725 ^{ns}	3,100 ^{ns}	1,044 ^{ns}	1,201 ^{ns}
Reg.quadrática	0,011 ^{ns}	0,768 ^{ns}	0,757 ^{ns}	7,014**	0,588 ^{ns}	0,841 ^{ns}
Massa seca de folha+caule						
Reg.linear	0,176 ^{ns}	0,474 ^{ns}	5,484*	1,936 ^{ns}	1,330 ^{ns}	2,328 ^{ns}
Reg.quadrática	0,019 ^{ns}	1,281 ^{ns}	0,886 ^{ns}	4,418*	0,023 ^{ns}	0,352 ^{ns}
Massa seca relativa de grãos						
Reg.linear	0,160 ^{ns}	0,763 ^{ns}	4,872*	3,114 ^{ns}	3,069 ^{ns}	4,201*
Reg.quadrática	0,000 ^{ns}	1,199 ^{ns}	0,951 ^{ns}	6,737*	0,314 ^{ns}	0,187 ^{ns}
Massa seca relativa de sabugo						
Reg.linear	0,043 ^{ns}	0,179 ^{ns}	1,516 ^{ns}	0,720 ^{ns}	2,932 ^{ns}	1,769 ^{ns}
Reg.quadrática	0,331 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,035 ^{ns}	1,075 ^{ns}	1,903 ^{ns}	0,572 ^{ns}
Massa seca relativa de espiga						
Reg.linear	0,176 ^{ns}	0,474 ^{ns}	5,484*	1,936 ^{ns}	1,330 ^{ns}	2,328 ^{ns}
Reg.quadrática	0,019 ^{ns}	1,281 ^{ns}	0,886 ^{ns}	4,418*	0,023 ^{ns}	0,352 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Nas Figuras 43 e 44 são apresentados os efeitos das doses de molibdênio na matéria seca relativa das folhas, para a forma de aplicação via folha e via solo, respectivamente. Em ambas verifica-se o aumento da porcentagem de folhas com o aumento da dose, apresentando comportamento linear. Na Figura 18, teor de molibdênio na folha, solo RL, foi possível observar também ajuste linear positivo na forma de aplicação via solo, sendo possível que o aumento proporcional da massa das folhas tenha ocorrido pelo maior teor de molibdênio presente nas folhas.

solo RL - Experimento I
Forma de aplicação: via Folha
(%) Folhas

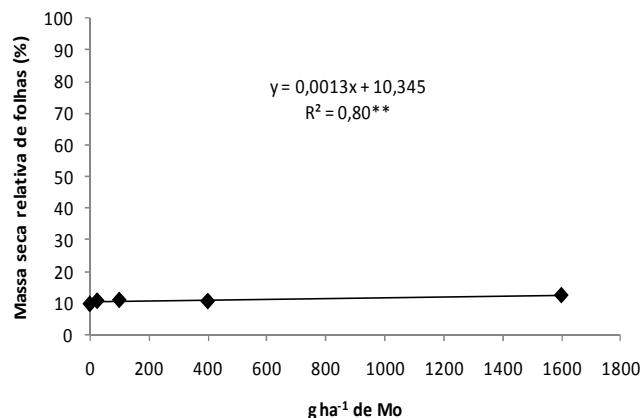


Figura 43. Massa seca relativa (%) de folhas em função da dose de molibdênio aplicado via folha, no solo RL, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

solo RL - Experimento I
Forma de aplicação: via Solo
(%) Folhas

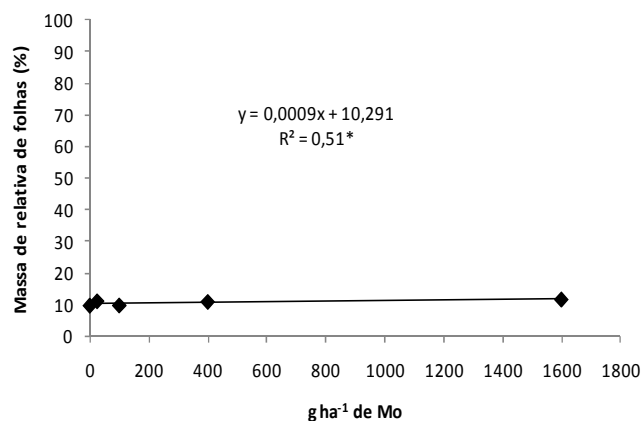


Figura 44. Massa seca relativa (%) de folhas em função da dose de molibdênio aplicado via solo, no solo RL, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade.

O efeito das doses de molibdênio na massa seca relativa das folhas, caule, grãos e espiga do milho cultivado no solo LRa, no Experimento I, encontram-se na

Figura 45. Pelo ajuste quadrático, com alto coeficiente de determinação, significativo a 5 % de probabilidade, verifica-se que a dose que proporciona a maior porcentagem de grãos é de 755 g ha⁻¹ de molibdênio. Segundo Teixeira (2006) a dose de molibdênio que proporcionou a maior massa de mil grãos foi de 704 g ha⁻¹.

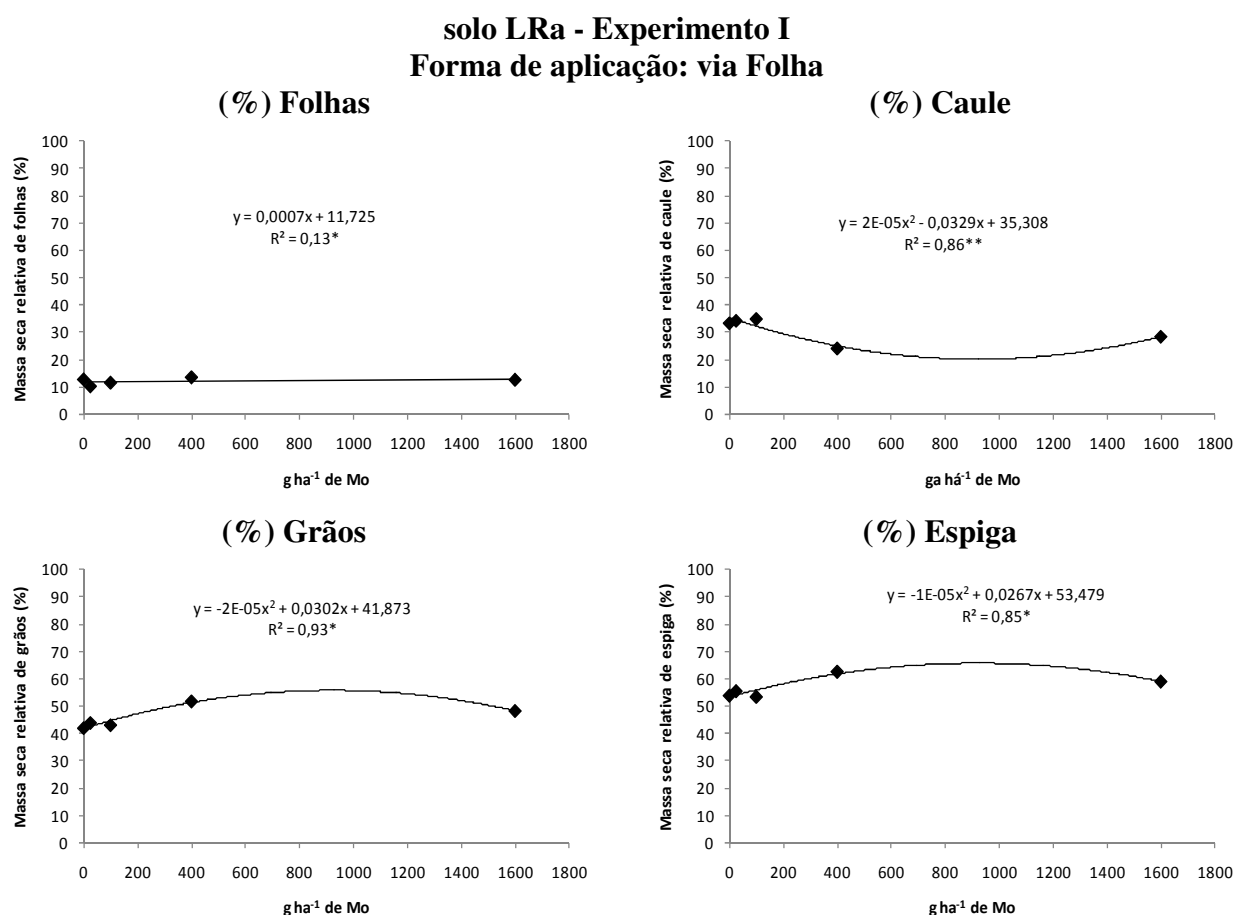


Figura 45. Massa seca relativa (%) de folhas, caule, grãos e espiga em função da dose de molibdênio aplicado via folha, no solo LRa, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.

*Significativo a 5% de probabilidade.

solo LRa - Experimento I
Forma de aplicação: via semente **Forma de aplicação: via solo**
(%) Folhas

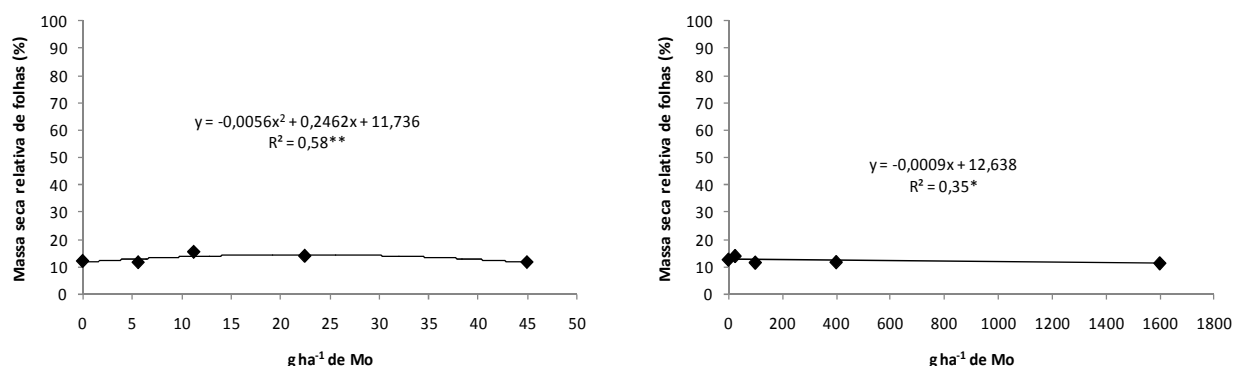


Figura 46. Massa seca relativa de folhas (%) em função da dose de molibdênio aplicado via semente e via solo, no solo LRa, 1º ano de cultivo. Botucatu-SP, 2010.

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

6.3.6.2 Experimento III

Na Tabela 47 e 48 encontra-se o resumo da análise de variância referente a massa seca relativa das folhas e do caule, no segundo ano de cultivo para as fontes de variação qualitativa e para a fonte de variação quantitativa, respectivamente. Percebe-se que não foi detectada diferenças significativas para as causas de variação avaliadas.

Tabela 47. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação: Repetição, Solo (S), Forma de Aplicação (FA) e suas interações referente a massa seca relativa das folhas e massa seca relativa do caule, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Variável analisada: massa seca relativa	
	Folhas	Caule
Repetição	1,675 ^{ns}	1,675 ^{ns}
FA	1,148 ^{ns}	1,148 ^{ns}
S*FA	0,557 ^{ns}	0,557 ^{ns}
CV%	8,42	5,64

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 48. Resumo da análise de variância (valores de F) para a fonte de variação Dose (regressão linear e quadrática) para as variáveis massa seca relativa das folhas, caule de milho para o solo RL e solo LRa, nas três formas de aplicação, no Experimento III. Botucatu-SP, 2010.

Fonte de variação	Regressão Polinomial (Dose)		
	folha	Semente	Solo
Massa seca relativa de folhas - Experimento III			
Reg.linear	2,388 ^{ns}	1,468 ^{ns}	0,097 ^{ns}
Reg.quadrática	0,460 ^{ns}	0,447 ^{ns}	2,657 ^{ns}
Massa seca relativa de caule - Experimento III			
Reg.linear	2,388 ^{ns}	1,468 ^{ns}	0,097 ^{ns}
Reg.quadrática	0,460 ^{ns}	0,447 ^{ns}	2,657 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * Significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$);

^{ns} Não significativo ($p \geq 0,05$).

6.4 Considerações Finais

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam a importância da adubação molibídica para a cultura do milho. Contudo, a grande variação das respostas, associada à carência de referências comparativas recentes, sugerem a necessidade do aprofundamento investigativo sobre os diversos aspectos agrônômicos do molibdênio, para a obtenção de resultados que garantam a eficiência na utilização desse micronutriente.

Faz-se necessário, portanto, a continuidade da pesquisa relacionada à determinação do molibdênio em diferentes tipos de solo, com o intuito de alcançar a precisão e a praticidade necessárias para a inclusão da análise desse elemento na rotina dos laboratórios, bem como, para a produção de referências científicas com padrões comparativos confiáveis.

Outro fundamental tema para pesquisa é o detalhamento dos aspectos relacionados ao metabolismo do molibdênio nas plantas, principalmente no que diz respeito a bioquímica, que serão fundamentais para o entendimento das respostas positivas observadas com a utilização desse micronutriente na agricultura.

7 CONCLUSÕES

A solução Sims (NaNO_3 2 Mol L^{-1} + HCl 2 Mol L^{-1} , adaptada de Sims, 1996), com pH entre 1,2 e 1,8, é a solução que retira o molibdênio da resina que melhor representa a concentração de molibdênio, determinado pelo método do iodeto de potássio, no Neossolo Litólico (RL), tanto com calagem quanto sem calagem; não sendo representativa para a concentração de molibdênio no Latossolo Roxo álico (LRa).

O milho cultivado no Latossolo Roxo álico (LRa) apresenta melhor desempenho, em relação aos parâmetros avaliados, que no Neossolo Litólico (RL), embora o milho cultivado nos dois solos, tanto com calagem quanto sem calagem, seja responsivo a doses crescentes de molibdênio.

As formas de aplicação de molibdênio via folha, via semente e via solo apresentam respostas equivalentes na planta de milho, sendo a forma de aplicação via semente a que representa maior eficiência da utilização do molibdênio pela planta.

8 REFERÊNCIAS

ABDUL-BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Seed biology**. New York: Academic Press, 1972. p. 283-315.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; RAIJ, B. van. **Análise de micronutrientes em solos brasileiros: situação atual e perspectivas**. Piracicaba: Potafos, 1997. 12 p. (Informações Agronômicas, 79).

ADAMS, J. F.; BURMESTER, C. H.; MITCHELL, C. C. Longterm fertility treatments and molybdenum availability. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 21, p. 167-170, 1990.

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533 p.

AGARWALA, S. C. et al. Effect of molybdenum deficiency on the growth and metabolism of corn plants raised in sand culture. **Canadian Journal of Botany**, Ontario, v. 56, p. 1905–1909, 1978.

AGARWALA, S. C. et al. Pollen development in maize plants subjected to molybdenum deficiency. **Canadian Journal of Botany**, Ontario, v. 57, p. 1946–1950, 1979.

ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 527-534, 2001.

AMARA, A. M.; NASR, S. A. Impact of foliar application with biofertilizers and micronutrients on the growth and yield of *Bradyrhizobium* inoculated soybean plants. **Annals of Agricultural Science**, Cairo, v. 40, n. 2, p. 567-578, 1995.

ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de micronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.115-149, 1975.

ARAÚJO, G.A. de A. et al. Épocas de aplicação de molibdênio na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21, 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.160.

ARAÚJO, G. A. de A. et al. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 231-237, 2010.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, p. 371–375, 1939.

ARYAN, A. P. **Regulation of nitrate reductase activity in higher plants**. 1984. 164 p. Tese (Ph.D) - University of Adelaide, Adelaide, 1984. Disponível em: <<http://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/bitstream/2440/19560/1/09pha796.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2010.

AVILA, M. R. et al. Efeito do tratamento de sementes de milho com micronutrientes na produtividade e na qualidade fisiológica das sementes produzidas no período da safrinha. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 15, n. 1/3, p. 41, 2005.

BARBIN, D. **Planejamento e análise de experimentos agronômicos**. Arapongas: Midas, 2003. 208.

BARSHAD, I. Factors affecting the molybdenum content of pasture plants: I. Nature of soil molybdenum, growth of plants, and soil pH: **Soil Science**, Baltimore, v. 71, p. 313-327, 1951.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; VALADARES, J. M. A. S. O molibdênio em solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 1975, Campinas. **Anais...** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.107-111.

BIBAK, A.; BORGGAARD, O. K. Molybdenum adsorption by aluminum and iron oxides and humic acid. **Soil Science**, Baltimore, v. 158, p. 323-328, 1994.

BORGES, E.A.; FERNADES, M.S.; LOSS, A.; SILVA, E.E.; SOUZA, S.R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.3, p.278-286, 2006.

BRADFIELD, E. J.; STICKLAND, J. F. The determination of molybdenum in plants by an automated catalytic method. **Analyst**, Cambridge, v. 100, p. 1-6, 1975.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Padrões para produção e comercialização de sementes de milho - cultivares híbridas. Instrução normativa nº25, de 16 de dezembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 2005. Seção 1, n.243, p.18.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 227-303, 1999.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., MERCOSOJA 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002, p. 355-366.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da fazenda Lageado Estação Experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônômicas UNESP**, Botucatu, n. 1, 1983. 95 p.

CARVALHO, W.; PANOSO, L. A.; MORAES, M. H. Levantamento semidetalhado dos solos da Fazenda Experimental Edgardia, município de Botucatu - SP. **Boletim Científico Faculdade Ciências Agronômicas, UNESP**, Botucatu, n. 2, 1991. 242 p.

CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; FURLANI, P.R. A determinação do teor total e do teor solúvel, em diversas soluções, de molibdênio do solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 27, p.171-180, 1970.

CHEMTURA. **Vitavax – Thiran 200 SC**. Disponível em:
<http://www.chemtura.com/deployedfiles/Business%20Units/Crop_Protection-pt-BR/BU%20Documents/Material%20Safety%20Data%20Sheets/VITAVAX%20THIRAM%20200%20SC.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2008.

CHENG, T. The effect of seed treatment with microelements upon the germination and early growth of wheat. **Science Sinica**, Beijing, v. 44, p. 129-135, 1985.

CHING, T.M.; SCHOOLCRAFT, I. Physiological and chemical differences in aged seeds. **Crop Science**, Madison, v. 8, p. 407-409, 1968.

COELHO, F. C. **Efeitos do nitrogênio e do molibdênio sobre as culturas do milho e do feijão em monocultivos e em consórcio**. 1997. 136 p. Tese – (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

COELHO, F. C. et al. Nitrogênio e molibdênio nas culturas do milho e do feijão, em monocultura e em consórcio: efeitos sobre o feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 45, n. 260, p. 393-407, 1998.

COIMBRA, R. A. et al. Sacos plásticos para manutenção da umidade do substrato no teste de germinação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 14., 2005, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Foz do Iguaçu: ABRATES, 2005. p. 129.

DALLPAI, D. L. **Determinação espectrofotométrica de molibdênio em solo e tecido vegetal e adsorção de molibdato em alguns solos de Minas Gerais**. 1996. 56 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. et al. (Ed.). **Methods of soils analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-567.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 328-354.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.

DESWAL, D. P.; CHAND, U. Standardization of the tetrazolium test for viability estimation in ricebean (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & ohashi) seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 25, p. 409-417, 1997.

DIAS, M. C. L. L.; BARROS, A. S. R. Avaliação da qualidade de sementes de milho. **Circular IAPAR**, Londrina, n.88, 1995. 43p.

DIBB, D. W.; FIXEN P. E.; MURPHY L. S. Balanced fertilization with references to phosphates: interaction of phosphorus with others inputs and management practices. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 26, p. 29-52, 1990.

EIRAS, S. P. **Determinação catalítica de molibdênio em plantas, usando análise em fluxo contínuo monossegmentado com detecção espectrofotométrica**. 1991. 127 p. Tese de doutorado (Instituto de Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

EIVAZI, F.; SIMS, J. T. Analytical techniques of molybdenum determination in plant and solis. In: GUPTA, U. C. (ed.). **Molybdenum in agriculture**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p. 92-110.

EIVAZI, F.; SIMS, J. L.; CRUTCHFIELD, J. Determination of molybdenum in plant materials using a rapid, automated method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 13, p. 135-150, 1982.

EIVAZI, F. et al. 1982. Determination of molybdenum in plant material using a rapid, automated method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 13, p. 135-150, 1982.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **A produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FERNANDES, D. M. **Efeitos de níveis de molibdênio e calcário na cultura da mamona (*Ricinus communis*, L.) cultivar Guarani**. 1996. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

FERREIRA, A. C. B. **Nutrição e produtividade do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e de sua aplicação via foliar**. 2001. 80 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 65-72, 2003.

FERREIRA, M. E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: POTAFOS, 2001. 600 p.

FONTES, R. L. F.; ABREU, C. A. de; ABREU, M. F. de. Disponibilidade e avaliação de elementos aniônicos. In: FERREIRA, M. E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Potafos, 2001. p. 187-212.

FRANCO, A. A.; PERES, J. R. R.; NERY, M. The use of *Azotobacter paspali* N₂-ase (C₂H₂ reduction activity) to measure molybdenum deficiency in soils. **Plant Soil**, The Hague, v. 50, p.1-11, 1978.

FUGE, R. An automated method for the determination of molybdenum in geological and biological samples. **Analyst**, Cambridge, v. 95, p. 171-176, 1970.

GALRÃO, E. Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 111-116, 1984.

GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) e do milho (*Zea Mays* L.) em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 72-75, 1981.

GEORGE, T. et al. Managing native and legume-fixed nitrogen in lowland rice-based cropping systems. **Plant Soil**, The Hague, v. 141, p. 69-91, 1992.

GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S.; GODFREY, C. L. Molybdenum adsorption on oxides, clay minerals, and soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 425-432, 1996.

GONCALVES JUNIOR, A. C.; PESSOA, A. C. S. Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e cromo, em soja cultivada em Argissolo Vermelho Eutrofico, tratado com fertilizantes comerciais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 3, n. 1/2, p. 19-23, 2002.

GONZALEZ, B. R. et al. Molybdate adsorption characteristics of volcanic-ash-derived soils in Chile. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 38, p. 903-906, 1974.

GRIGG, J. L. Determination of the available molybdenum of soils. **New Zealand Journal of Science and Technology**, Wellington, v. 34, p. 405-414, 1953.

GUERRA, C. A. et al. Soybean seed physiological quality in function of phosphorus, molybdenum and cobalt fertilization. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, 2006.

GUPTA U.C. Deficient, sufficient, and toxic concentrations of molybdenum in crops. In: U.C. GUPTA, (Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997a p. 150-159.

GUPTA, U. C. Determination of boron, molybdenum, and selenium in plant tissue. In: KALRA, Y. P. (Ed.). **Handbook of reference methods for plant analysis**. Boca Raton: CRC, 1998, p. 171-182.

GUPTA, U. C. Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants. In: GUPTA, U. C. (Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 71–91.

GUPTA, U. C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants, and animals. **Advance in Agronomy**, Madison, v. 34, p.73–115, 1981.

GURLEY, W.H.; GIDDENS, J. Factors affecting uptake, yield response, and carryover of molybdenum in soybean seed. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.1, p.7-9, 1969.

HALE, K. L. et al. Molybdenum sequestration in brassica species. A role for anthocyanins. **Plant Physiology**, Rockville, v. 126, p. 1391–1402, 2001.

HAMLIN, R. L. Molybdenum. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. London: Taylor e Francis, 2007. 613 p.

HEWITT, E. J. A perspective of mineral nutrition: essential and functional metals in plants. In: ROBB, D. A.; PIERPOINT, W. S. (Ed.). **Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants**. New York: Academic Press, 1983. p. 277–326.

HOROWITZ, A. A. A geoquímica do molibdênio nos solos da Zona Litoral-Mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, p. 73-91, 1978.

JACOB NETO, J.; ROSSETTO, C. A. V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.171-183, 1998.

JACOB NETO, J. **Variação estacional, concentração nas sementes e níveis críticos de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1985. 141p. (Dissertação de Mestrado): Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí. 1985.

JACOB NETO, J.; FRANCO, A. A. Conteúdo de molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 3, p. 508, 1986.

JACOBSON, L. A.; VOSS, M. Adubação com molibdênio em soja no RGS, nas safras 1994/5 e 1995/96. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1996, **Anais...** Lages, 1996. p. 24 - 26.

JARRELL, W. M.; DAWSON, M. D. Sorption and availability of molybdenum in soils of western Oregon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 412-415, 1978.

JAWORSKI, E.G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, London, v. 43, p. 1274- 1279, 1971.

JOHANNES, E.; GUNARTO, L. Nodulation and uptake of nitrogen and phosphorus by soybean inoculated with four strains of *Bradyrhizobium japonicum* and applied with phosphorus, molybdenum and copper. **Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 70, p. 193-201, 1987.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd ed. New York: CRC, 2001. 413 p.

KAISER, B. et al. The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production. **Annals of Botany**, Exeter, v. 96, p. 745-754, 2005.

KANNAN, S.; RAMANI, S. Studies on molybdenum absorption and transport in bean and rice. **Plant Physiology**, Rockville, v. 62, p. 179–181, 1978.

KEVRESAN, S. et al. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 24, p. 1633–1644, 2001.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. Piracicaba: Potafos, 2007. 24 p. (Informações Agrônômicas, 118).

KÖEHLE, H. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants. In: LYR, H. et al. (Ed.). **Modern fungicides and antifungal compounds III**. Andover, 2002. p. 61-74.

LANA, A. M. Q. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de micronutrientes na cultura do milho. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 1, p. 76-81, 2007.

LANTMANN, A. F. Nutrição e produtividade da soja com molibdênio e cobalto. **Artigos Embrapa, Coletânea Rumos e Debate**. Londrina, 2002. Disponível em: <
<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2002/artigo.2004-12-07.2621259858/>>. Acesso em: 05 maio 2009.

LEITE, U. T. et al. Absorção de molibdênio e de nitrogênio em diferentes variedades de feijão em função de doses de Mo. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 2002. 814 p.

LOPES, A. S.; SOUZA, E. C. A. de. Filosofias e eficiência de aplicação. In: FERREIRA, M. E. et al. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Potafos, 2001. p. 255-282.

LOPEZ, E. et al. Molybdenum uptake, distribution and accumulation in beans plants. **Fresenius Environmental Bulletin**, Freising, v. 5, p. 73-79, 1996.

LUCHESI, A.V. et al. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 6, p. 1949-1952, 2004.

MACHADO, A. T. et al. Nitrate reductase and glutamine synthetase activities in S₁ endogamic families of the maize populations sol da manhã nf and catetão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n.1, p. 88-102, 2001.

MACHADO, E. C. et al. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, p. 825-833, 1982.

MAGALHÃES, P. C. Aspectos Fisiológicos da Cultura do Milho Irrigado. In: RESENDE, M. et al. **Cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 267 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKY, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Comitê de Vigor de Sementes, 1999. p. 3.1-3.24.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. de.; SOUZA, R.B. de. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Ed.) **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-168.

MCKENZIE, R. M. The adsorption of molybdenum on oxide surfaces. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 21, p. 505-513, 1983.

MENDEL, R. R.; HAENSCH, R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 53, p. 1689- 1698, 2002.

MENDEL, R. R.; STALLMEYER, B. Molybdenum cofactor (nitrate reductase) biosynthesis in plants: First molecular analysis. In: TERZI, M.; CELLA, R.; FALAVIGNA, A. **Current issues in plant molecular and cellular biology**. Florence, 1995. p. 577-582.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Bern: International Potash Institute. 1987. 687 p.

MIKKONEN, A.; TUMMAVUORI, J. Retention of vanadium(V), molybdenum(VI) and tungsten(VI) by kaolin. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science**, London, v. 43, p. 11-15, 1993.

MILLER, R. O. Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel. In: Y.P. Kalra, (Ed.). **Handbook of reference methods for plant analysis**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1998. p. 57-62.

MISHRA, S. N. et al. Rhizobium-legume association. In: SRIVASTAVA, H. S.; SINGH, R. P. (Ed.) **Nitrogen nutrition and plant growth**. Enfield, NH: Science Publishers, Inc., 1999, p. 45–102.

MORTVEDT, J. J. Micronutrient fertilizer technology. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p. 523-548.

MORTVEDT, J. J. Sources and methods for molybdenum fertilization in crops. In: GUPTA, U.C. (Ed.) **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 171–181.

MURRAY, R.; STEPHENS, L. J. **Estatística**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 597 p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas - primeira contagem. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2.7-2.8

OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal Botany**, Ottawa, v. 72, p.739-750, 1994.

ODOM, J. W. et al. Molybdenum deficiency triggered by low soil ph. **Highlights of Agriculture Research**, Alabama, v. 27, n. 1, p. 4, 1980.

ORTOLANI, E. L. Intoxicação cúprica acumulativa em ovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BUIATRIA, 5., 2003, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Buiatria, 2003. p. 113-114.

PEARCE, R. B.; MOCK, J. J.; BAILEY, T. B. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. **Crop Science**, London, v. 15, p.691-694, 1975.

PEREIRA, S. L. et al. Efeitos da adubação nitrogenada e molibdica sobre a cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Minas Gerais, v. 23, n. 4, p. 791-799, 1999.

PESSOA, A. C. S. **Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo**. Viçosa, 1998. 151p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

PESSOA, A. C. S.; LUCHESE, E. B.; LUCHESE, A. V. Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de milho, em resposta ao tratamento de sementes com boro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.939-945, 2000.

PESSOA, A. C. S. et al. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 217-224, 2001.

PESSOA, A. C. S. et al. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 75-84, 2000.

PHELAN, P. J.; MATTIGOD, S. V. Adsorption of molybdate anion (MoO_4^{2-}) by sodium saturated kaolinite. **Clays & Clay Minerals**, Urbana, v. 32, p. 45-48, 1984.

POLIDORO, J. C. et al. Evaluation of Techniques for Determination of Molybdenum in Sugarcane Leaves. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London. v. 37, p. 77 – 91, 2006.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: NOBEL, 2002. 549 p.

QUAGGIO, J. A. et al. Plant response to lime and molybdenum application in low pH soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 659-664, 2004.

QUIN, B. F.; WOODS, P. H. Automated catalytic method for the routine determination of molybdenum in plant materials. **Analyst**, Cambridge, v. 104, p. 552-559, 1979.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

REBAFKA, F.-P.; NDUNGURU, B. J.; MARSCHNER, H. Single superphosphate depresses molybdenum uptake and limits yield response to phosphorus in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) grown on an acid sandy soil in Niger, West Africa. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 34, p. 233-242, 1993.

REDDY, K. J.; MUNN, L. C.; WANG, L. Chemistry and mineralogy of molybdenum in soils. In: GUPTA, U.C.,(Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 4-22.

REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison:SSSA, 1973. p.418-425.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S.; MENEZES, N. L. Tratamento de sementes de milho com fontes de zinco e boro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 16, n. 2, p. 116-120, 1994.

RICTHIE, G. S. P. A preliminary evaluation of resin extractable molybdenum as a soil test. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 19, n. 5, p. 507-516, 1988.

RÖMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M. E. (Ed.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Potafos, 2001. p. 71-87.

ROTH-BEJERANO, N.; LIPS, S. H. Induction of Nitrate Reductase in Leaves of Barley in the Dark. **New Phytologist**, Lancaster, v. 72, n. 2, p. 253-257, 1973.

SALGADO, J. H. H. **Avaliação do vigor de sementes de milho (*Zea mays* L.) pela precocidade de emissão da raiz primária**. 1996. 86 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba, 1996.

SANTOS, A. C. dos. et al. Alteração de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 77-83, 2010.

SHERELL, C. G. Evaluation of an anion exchange resin method for plant available molybdenum in new zeland soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. London, v. 20, n. 1, p. 61-74, 1989.

SIMS, J. L. Molybdenum and cobalt. In: BARTELS, J. M.; BINGHAM, J. M. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical Methods. Madison: SSSA, 1996. p. 723–737.

SIMS, J. T.; EIVAZI, F. Testing for molybdenum availability in soils. In: GUPTA, U. C., (Ed.) **Molybdenum in agriculture**. Cambridge, Cambridge University Press, 1997. p. 111-130.

SIMS, J. T.; JOHNSON, G. V. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2 ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 427-475.

SMITH, K. S. et al. Distribution and mobility of molybdenum in the terrestrial environment. In: GUPTA, U.C. (Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 23–46.

SPENCER, D.; WOOD, J.G.. The role of molybdenum in nitrate reduction in higher plants. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 7, p. 425–434, 1954.

SRIVASTAVA, P. C. Biochemical significance of molybdenum in crop plants. In: GUPTA, U. C. (Ed.). **Molybdenum in agriculture**. New York: Cambridge University Press, 1997. p. 47-70.

SRIVASTAVA, P. C.; GUPTA, U. C. **Trace elements in crop production**. Labanon, NH: Science Publishers, 1996. 356 p.

STARK, J. M.; REDENTE, E. F. Copper fertilization to prevent molybdenosis on retorted oil shale disposal piles. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 19, p. 502–504, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TANNER, P. D. Manganese toxicity and molybdenum deficiency effects on maize grown in an acid fersiallitic red sandy clay loam. **Rhodesian Journal of Agricultural**, Salisbury, v. 14, p. 95, 1976.

TANNER, P. D. The effect of molybdenum on maize seed quality. **Rhodesian Journal of Agricultural**, Salisbury, v. 17, p. 125-130, 1979.

TEIXEIRA, A. R. **Doses de molibdênio nas culturas do milho comum e milho-pipoca**. 2006. 38 p. (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

TESFAMARIAM, T.; RÖMHELD, V.; NEUMANN, G. P deficiency-induced root exudation of carboxylates contributes to Mo acquisition in leguminous plants. In: HARTMANN, A. (Ed.). **Rhizosphere 2004**: perspectives and challenges – a tribute to Lorenz Hiltner. Munich: Neuherberg, 2004.

THENG, B.K.G.. Adsorption of molybdate by some crystalline and amorphous soil clays. **New Zealand Journal of Science**, Dunedin, v. 14, p. 1040-1056, 1971.

TOLEDO, F. F. et al. Vigor de sementes de milho (*Zea mays* L.) avaliado pela precocidade de emissão da raiz primária. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 191-196, 1999.

TORRES, S. B. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 55-59, 1998.

TRIGO, L.F.N. et al. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista de Sementes**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 111-115, 1997.

UNKLES, S. E. et al. Nitrate reductase activity is required for nitrate uptake into fungal but not plant cells. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 279, p. 28182–28196, 2004.

VARGAS, R.; RAMIREZ, C. Respuesta de la soja y el maní a *Rhizobium* y a la fertilización con N, P y Mo en un típico pellustert de cañas, guanacaste. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 13, p. 175-182, 1989.

VAZQUEZ, G. H. et al. Efeito de molibdênio e cobalto sobre a nodulação, produção e qualidade fisiológica de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea*). **Informativo Abrates**, v. 15, n. 1/3, p. 107, 2005.

VIDOR, C.; PERES, J.R.R. Nutrição das plantas com molibdênio e cobalto. In: BORKET, C.M.; LANTMANN, A.F. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: Embrapa-CNPSO/SBCS, 1988. p. 197-204.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da., (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPQ, 1991. p. 391-412./

VOSS, M.; PÖTTKER, D. Adubação com molibdênio em soja, na presença ou ausência de calcário aplicado em superfície do solo, em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 787-791, 2001.

WARNER, R. L.; KLEINHOF, A. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, p. 245-252, 1992.

WEIR, R. G.; HUDSON, A. Molybdenum deficiency in maize in relation to seed reserves. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 6, n. 20, p. 35-41, 1966.

WELCH, R. M. et al. Geographic distribution of trace element problems. In: MORTVEDT, J. J. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 31-57.

WOODSTOCK, L.W.; GRABE, D.F. Relationship between seed respiration during imbibition and subsequent seedling growth in *Zea mays*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 8, p. 339-342, 1967.

XIE, R. J.; MACKENZIE, A. F. Molybdate sorption-desorption in soils treated with phosphate. **Geoderma**, Maryland Heights, v. 48, p. 321-333, 1991.

YAMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS; UFLA; DCS, 1999. p.143-161.

YATSIMIRSKY, K. B. The use of catalytic reactions involving hydrogen peroxide in the study of the formation of complexes and in the development of very sensitive analytical methods. In: BALANDIN, A. A. et al. **Catalysis and chemical kinetics**. New York: Academic Press, 1964. p. 201-206.

ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 1, p. 160-168, 1999.