

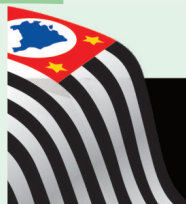
Pós-Graduação - IAC



Níquel em Soja: Doses e Formas de Aplicação

Camila de Carvalho Braga Levy

Camila de Carvalho Braga Levy



Campinas (SP) 2013

**INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**NÍQUEL EM SOJA: DOSES E FORMAS DE
APLICAÇÃO**

CAMILA DE CARVALHO BRAGA LEVY

**Orientador: Márcio Koiti Chiba
Co-orientador: Estêvão Vicari Mellis**

Dissertação submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Mestre** em
Agricultura Tropical e Subtropical, Área de
concentração em Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Junho, 2013



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(19) 2137-0601
pgiac@iac.sp.gov.br



Curso de Pós-Graduação
Agricultura Tropical e Subtropical
Certificado de Aprovação

Título: **Níquel em Soja: Doses e Formas de Aplicação**

Aluna: **Camila de Carvalho Braga Levy**

Área de Concentração: **Gestão de Recursos Agroambientais**

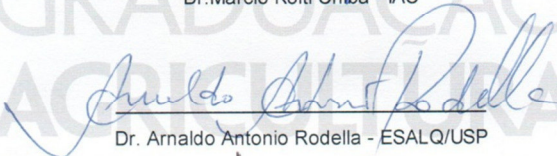
Processo SAA nº: **12064/2011**

Orientador: **Dr. Marcio Koiti Chiba**

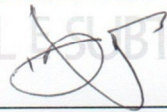
Aprovado pela Banca Examinadora:



Dr. Marcio Koiti Chiba - IAC



Dr. Arnaldo Antonio Rodella - ESALQ/USP




Dr. Dirceu de Mattos Júnior - IAC

INSTITUTO
AGRÔNÔMICO

Campinas, 19 de abril de 2013

Visto:


Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora Pós-Graduação
Instituto Agrônômico

DEDICATÓRIA

Aos mestres que já passaram por minha vida pessoal e acadêmica, dedico.

Sustentabilidade:

“Capacidade de suprir as necessidades da geração presente, sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas”.

(Brundtland, 1987)

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que participaram e dividiram comigo, direta ou indiretamente a realização deste trabalho, que é mais uma realização de um objetivo pessoal e profissional.

Aos meus pais amados, por sempre exigirem cada vez mais e me levarem a sempre querer cumprir meus objetivos.

À paciência do meu “namorado” Danilo, pelo companheirismo, momentos de “desbaratinação”, e pelo apoio dos seus ombros.

Ao meu “chefe” Fábio Bueno pela sugestão de iniciar o mestrado e pela paciência no processo, além dos conselhos eternos.

À Stela (Teté) que entrou na minha vida, me ensinou o que é amor incondicional e ficou ao meu lado incontáveis tardes e noites enquanto eu estudava ou escrevia.

Ao Prof. Dr. Márcio Koiti Chiba pela oportunidade e orientação.

Ao Dr. Estevão Vicari Mellis pela orientação, pelo apoio no processo seletivo e pela sugestão do tema.

Ao Instituto Agrônomo e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação pela enorme oportunidade oferecida.

À estagiária e “pupila” Marina K. Murrer pela amizade, parceria, por ser meus olhos, pernas e braços durante a execução do experimento. Sem você nada disso estaria no papel.

Aos pesquisadores do IAC Dr. Cristiano Andrade, Dra. Monica Abreu, Dra. Aline Conscione, Dr. Luiz Antonio Teixeira, e Dr. Dirceu Mattos Jr. pelo auxílio dado em diferentes etapas do trabalho. Ao Dr. Arnaldo Antônio Rodella pelas sugestões.

Aos pesquisadores da ESALQ Msc. Thiago Augusto de Moura pelas intermináveis horas no telefone, e Msc. Tiago Tezzoto pela paciência e ajuda nas análises da atividade da urease.

A minha amiga Msc. Vanessa Benaci pelo apoio durante esses dois últimos anos.

À Secretaria da Pós-Graduação, em especial a Ana Laura e Célia pela atenção durante o desenvolvimento do curso.

Aos funcionários do Departamento de Fertilidade do Solo pelo auxílio nas análises de solo e plantas. Aos funcionários da Fazenda Santa Elisa pelo auxílio na coleta do solo.

Aos amigos da turma de Gestão de Recursos Agroambientais por me darem novas histórias pra contar!

A todos que um dia (ou noite!) passaram na casa de vegetação comigo para “molhar as sojinhas” - cada um tem um espaço reservado no Céu e no meu coração.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Ni em Solos	2
2.2. Ni em Nutrição Mineral de Plantas	4
2.2.1. A essencialidade do Ni para as plantas	4
2.2.2. Sintomas de deficiência e toxicidade de Ni	5
2.2.3. Respostas à adição de Ni	6
2.2.4. A importância do Ni para a cultura da soja	9
2.2.5. Fontes de Ni e formas de aplicação	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Delineamento Experimental	10
3.2. Instalação e Condução do Experimento	13
3.3. Análises Químicas	16
3.3.1. Análise de parte aérea, grãos e solos	16
3.3.2. Determinação da atividade da urease nas folhas de soja	17
3.3.3. Adsorção de Ni	19
3.3.4. Análise estatística	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Teor Total e Adsorção nos Solos Estudados	20
4.2. Atributos Químicos dos Solos Após a Colheita da Soja Tratada com Ni	23
4.3. Acúmulo de Nutrientes nas Plantas	26
4.3.1. Macronutrientes na parte aérea das plantas aos 40, 70 e 110 dias após o plantio	26
4.3.1.1. Doses de Ni aplicadas via solo	29
4.3.1.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	31
4.3.2. Micronutrientes na parte aérea das plantas aos 40, 70 e 110 dias após o plantio	31
4.3.2.1. Doses de Ni aplicadas via solo	34
4.3.2.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	37
4.4. Atividade da Urease	40
4.4.1. Doses de Ni aplicadas via solo	40
4.4.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	43
4.5. Altura das Plantas de Soja	45
4.5.1. Doses de Ni aplicadas via solo	45
4.5.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	49
4.6. Área Foliar aos 40 e 70 Dias Após o Plantio	51
4.6.1. Doses de Ni aplicadas via solo	51
4.6.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	52
4.7. Número de Trifólios aos 70 Dias Após o Plantio e Número de Vagens aos 70 e 110 Dias Após o Plantio	52
4.7.1. Doses de Ni aplicadas via solo	53
4.8. Massa de Matéria Seca da Parte Aérea e dos Grãos aos 40, 70 e 110 Dias Após o Plantio e Massa de Matéria Seca dos Grãos de Soja	54
4.8.1. Doses de Ni aplicadas via solo	55

4.8.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	57
4.9. Acúmulo de Massa de Matéria Seca aos 40, 70 e 110 dias após o plantio	58
4.9.1. Doses de Ni aplicadas via solo	58
4.9.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	59
4.10. Análise Qualitativa dos Grãos de Soja	61
4.10.1. Teor de macronutrientes	61
4.10.2. Teor de micronutrientes	61
4.10.2.1. Doses de Ni aplicadas via solo	62
4.10.2.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	63
4.11. Comportamento do Ni nas Plantas de Soja x Textura do Solo x Formas de Aplicação	65
4.11.1. Doses de Ni aplicadas via solo	65
4.11.2. Doses de Ni aplicadas via foliar	67
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	80
ANEXO I	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) antes da instalação do ensaio	11
Tabela 2. Características físicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) antes da instalação do ensaio	12
Tabela 3: Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para a adsorção de níquel em dois solos, Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV), cultivados com soja	21
Tabela 4: Características químicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) após a colheita do ensaio	24
Tabela 1 (Anexo I): Média de acúmulo de nutrientes aos 40, 70, 110 dias após o plantio (DAP) na parte aérea e acúmulo de nutrientes em grãos, e seu translocamento em função das formas de aplicação de Ni e solos utilizados. Latossolo vermelho eutroférico (LV) e Latossolo vermelho-amarelo (LVA)	80
Tabela 2 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 40 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	81
Tabela 3 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	82
Tabela 4 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	83
Tabela 5 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 40 (DAP) em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	84
Tabela 6 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 70 DAP em em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	85
Tabela 7 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	86
Tabela 8 (Anexo I): Atividade da urease aos 40 e aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	87
Tabela 9 (Anexo I): Altura das plantas de soja aos 20, 30, 41, 59, 66 e 87 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	88
Tabela 10 (Anexo I): Área foliar, massa de matéria verde e seca aos 40 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	89
Tabela 11 (Anexo I): Área foliar, massa de matéria verde (MMV) e seca (MMS), número de trifólios (NT) e de vagens (NV) aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	90

Tabela 12 (Anexo I): Massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e dos grãos (MMSG), e número de vagens (NV) aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	91
Tabela 13 (Anexo I) : Teor de macronutrientes nos grãos em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	92
Tabela 14 (Anexo I): Teor de micronutrientes nos grãos em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Semeadura da soja	13
Figura 2: Efeito fitotóxico da dose 0,5 kg ha ⁻¹ de Ni aplicado via semente no LVA (esq.) e LV (dir.)	14
Figura 3: Soja em três períodos de seu desenvolvimento (início, época do florescimento e enchimento dos grãos)	15
Figura 4: Detalhe das últimas plantas de cada vaso que foram coletadas aos 110 DAP	17
Figura 5: Coleta de discos foliares; embebição com solução tampão, e detalhe da coloração da solução após o banho-maria	18
Figura 6: Amostras em banho-maria em contato com a solução contendo Reagente I e II; detalhe da coloração azulada demonstrando o efeito na atividade da urease na formação de (NH ₄ ⁺) com as crescentes doses de Ni	18
Figura 7: Adsorção de níquel em Latossolo vermelho eutroférico, argiloso (LV) e ajuste dos dados experimentais aos modelos de Langmuir (vermelho) e Freundlich (verde)	22
Figura 8: Adsorção de níquel em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e ajuste dos dados experimentais aos modelos de Langmuir (vermelho) e Freundlich (verde)	22
Figura 9: Teor de níquel disponível (Ni-DTPA) em um Latossolo vermelho-amarelo, textura arenosa (LVA) e em um Latossolo vermelho eutroférico, textura argilosa (LV) após o cultivo de plantas de soja tratadas com doses de Ni aplicadas via solo	25
Figura 10: Teor de níquel disponível (Ni-DTPA) em um Latossolo vermelho-amarelo, textura arenosa (LVA) e em um Latossolo vermelho eutroférico, textura argilosa (LV) após o cultivo de plantas de soja tratadas com doses de Ni aplicadas via foliar	25
Figura 11: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP	35
Figura 12: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP	35
Figura 13: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) na parte aérea final aos 110 DAP	36
Figura 14: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 40 DAP	37
Figura 15: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 70 DAP	38
Figura 16: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 110	

DAP	39
Figura 17: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP	41
Figura 18: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP	41
Figura 19: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP	44
Figura 20: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP	44
Figura 21: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 20 DAP	46
Figura 22: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 30 DAP	46
Figura 23: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 41 DAP	47
Figura 24: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	47
Figura 25: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	48
Figura 26: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 41 DAP	49
Figura 27: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	50
Figura 28: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	50
Figura 29: Área foliar das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) aos 40 DAP	52
Figura 30: Número de vagens em plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 70 DAP	53
Figura 31: Número de vagens em plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 110 DAP	54
Figura 32: Massa de matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 40 DAP	55
Figura 33: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) aos 70 DAP	56
Figura 34: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 110 DAP	57
Figura 35: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa	

(LVA) aos 70 DAP	57
Figura 36: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	59
Figura 37: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	59
Figura 38: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	60
Figura 39: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	60
Figura 40: Médias do teor de níquel (Ni) em grãos de soja tratadas com Ni via solo	63
Figura 41: Teor de níquel (Ni) em grãos de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	63
Figura 42: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja e grãos em plantas tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	65
Figura 43: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	66
Figura 44: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV)	67
Figura 45: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA)	68

NÍQUEL EM SOJA: DOSES E FORMA DE APLICAÇÃO

RESUMO

A soja é uma importante fonte de proteína para alimentação animal e humana. O Brasil é o segundo maior produtor mundial. O níquel (Ni) foi considerado micronutriente devido a sua participação na urease, enzima que catalisa a degradação da uréia em dióxido de carbono e amônia. A deficiência de Ni inibe a atividade da urease que acarreta em acúmulo de ureia nas folhas, ocasionando aparecimento e manchas necróticas, impedindo o desenvolvimento da cultura e pode provocar morte das plantas em casos severos. Apesar da sua importância, informações sobre o efeito da aplicação de Ni em solos brasileiros são insuficientes, o que torna a pesquisa do efeito e das formas de aplicação de Ni na cultura da soja importante para se estabelecer seu manejo adequado. O trabalho proposto teve por objetivo estudar o efeito da aplicação de doses de Ni via solo, via foliar e via semente na absorção de Ni e seus efeitos nas plantas de soja transgênica Anta 82, em solos com diferentes texturas, um Latossolo vermelho-amarelo (LVA), arenoso, e um Latossolo vermelho eutroférico (LV), argiloso. Foi conduzido um experimento no município de Campinas-SP, na casa de vegetação do IAC, montado seguindo delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 X 4 (três formas de aplicação e 4 doses de Ni) com 4 repetições de cada tratamento, totalizando 48 vasos para cada solo. Foram aplicadas as doses de Ni na forma de NiCl₂: 0, 0,5, 1 e 2 kg ha⁻¹ vi solo no plantio; 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ via foliar aos 20 dias após o plantio (DAP); e 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ via tratamento de semente. Foi avaliado o desenvolvimento das plantas (altura e área foliar), a acúmulo de nutrientes nas plantas, e a atividade da urease em duas épocas, no florescimento (40 DAP) e no enchimento dos grãos (70 DAP). A colheita final foi realizada aos 110 DAP. A adição de Ni via solo e via foliar aumentou a atividade da urease em plantas de soja. A maior atividade da urease no tratamento com Ni via solo foi de 285,75 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹, e no tratamento via foliar foi de 266,87 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹ nas doses mais altas de Ni, no LVA. Foi observado aumento de 2 cm na altura das plantas que receberam aplicação de Ni. O número de vagens aumentou com a aplicação de Ni via solo, de 9 para 13 vagens em LVA. A absorção de Ni aplicado via solo depende da textura do solo. No LV a adsorção de Ni foi 96% maior do que a adsorção no LVA. A dose de 0,5 kg ha⁻¹ aplicada via solo no LV aumentou em 25% o acúmulo de massa de matéria seca nas plantas de soja. Doses a partir de 0,25 kg ha⁻¹ aplicadas via foliar aumentaram o teor de Ni nos grãos acima do permitido para consumo (5 mg kg⁻¹). As doses utilizadas no tratamento de semente foram tóxicas e impediram o desenvolvimento da cultura.

Palavras chave: urease, aplicação, textura do solo, micronutriente

NICKEL IN SOYBEAN: DOSIS AND FORM OF APPLICATION

ABSTRACT

Soybean is an important source of protein for animal and human nutrition. Brazil is the second largest world producer. Nickel (Ni) was considered micronutrient because of its participation in urease enzyme that catalyzes the degradation of urea into carbon dioxide and ammonia. Ni deficiency inhibits urease activity that leads to accumulation of urea in leaves, causing appearance of necrotic spots, preventing crop development and can cause plant death in severe cases. Despite its importance, information about effect of Ni in Brazilian soils are insufficient, which makes the research of effect and application forms Ni in soybean important to establish its proper management. The proposed trial aimed to study the effect of Ni doses into soil, foliar and seed application, in absorption of Ni and its effects on transgenic soybean plant variety Anta 82, in soils with different textures, a dystrophic Red-Yellow (LVA), sandy texture, and a Red Oxisol (LV), loamy texture. An experiment was conducted in Campinas-SP, at IAC greenhouse following completely randomized design in factorial 3 X 4 (3 forms of application and 4 doses of Ni) with 4 replicates of each treatment, totaling 48 pots for each soil. Doses of Ni were applied as NiCl₂: 0, 0.5, 1 and 2 kg ha⁻¹ via soil application at planting; 0, 0.25, 0.5 and 1.0 kg ha⁻¹ foliar spraying at 20 days after planting (DAP) and 0, 0.25, 0.5 and 1.0 kg ha⁻¹ in seed treatment. It was evaluated the development of plants (height and leaf area), the accumulation of nutrients in plants, and urease activity in two seasons, flowering (40 DAP) grain filling (70 DAP). The final harvest was performed at 110 DAP. The addition of Ni to soil and foliar increased urease activity in soybean plants. The highest urease activity in soil treatment with Ni was 285.75 μmol NH₄⁺gm⁻¹h⁻¹, and foliar treatment was 266.87 μmol NH₄⁺gm⁻¹h⁻¹ at higher doses of Ni, in LVA. There was an increase of 2 cm in plant height when Ni was applied. The number of pods increased with application of Ni in soil from 9 to 13 pods in LVA. The absorption of Ni applied to soil depends on soil texture of. Adsorption of Ni in LV was 96% higher than adsorption in LVA. Dose of 0.5 kg ha⁻¹ applied in soil increased by 25% mass accumulation of dry matter in soybean plants cultivated in LV. Doses of 0.25 kg ha⁻¹ applied via foliar increased Ni content in the grains above allowed for consumption (5 mg kg⁻¹). The doses used in seed treatment were toxic and prevented the development of the crop.

Key words: urease, application, soil texture, micronutrient

NÍQUEL EM SOJA: DOSES E FORMA DE APLICAÇÃO

RESUMO

A soja é uma importante fonte de proteína para alimentação animal e humana. O Brasil é o segundo maior produtor mundial. O níquel (Ni) foi considerado micronutriente devido a sua participação na urease, enzima que catalisa a degradação da uréia em dióxido de carbono e amônia. A deficiência de Ni inibe a atividade da urease que acarreta em acúmulo de ureia nas folhas, ocasionando aparecimento e manchas necróticas, impedindo o desenvolvimento da cultura e pode provocar morte das plantas em casos severos. Apesar da sua importância, informações sobre o efeito da aplicação de Ni em solos brasileiros são insuficientes, o que torna a pesquisa do efeito e das formas de aplicação de Ni na cultura da soja importante para se estabelecer seu manejo adequado. O trabalho proposto teve por objetivo estudar o efeito da aplicação de doses de Ni via solo, via foliar e via semente na absorção de Ni e seus efeitos nas plantas de soja transgênica Anta 82, em solos com diferentes texturas, um Latossolo vermelho-amarelo (LVA), arenoso, e um Latossolo vermelho eutroférico (LV), argiloso. Foi conduzido um experimento no município de Campinas-SP, na casa de vegetação do IAC, montado seguindo delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 X 4 (três formas de aplicação e 4 doses de Ni) com 4 repetições de cada tratamento, totalizando 48 vasos para cada solo. Foram aplicadas as doses de Ni na forma de NiCl_2 : 0, 0,5, 1 e 2 kg ha^{-1} vi solo no plantio; 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha^{-1} via foliar aos 20 dias após o plantio (DAP); e 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha^{-1} via tratamento de semente. Foi avaliado o desenvolvimento das plantas (altura e área foliar), a acúmulo de nutrientes nas plantas, e a atividade da urease em duas épocas, no florescimento (40 DAP) e no enchimento dos grãos (70 DAP). A colheita final foi realizada aos 110 DAP. A adição de Ni via solo e via foliar aumentou a atividade da urease em plantas de soja. A maior atividade da urease no tratamento com Ni via solo foi de $285,75 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{gmf}^{-1} \text{h}^{-1}$, e no tratamento via foliar foi de $266,87 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{gmf}^{-1} \text{h}^{-1}$ nas doses mais altas de Ni, no LVA. Foi observado aumento de 2 cm na altura das plantas que receberam aplicação de Ni. O número de vagens aumentou com a aplicação de Ni via solo, de 9 para 13 vagens em LVA. A absorção de Ni aplicado via solo depende da textura do solo. No LV a adsorção de Ni foi 96% maior do que a adsorção no LVA. A dose de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ aplicada via solo no LV aumentou em 25% o acúmulo de massa de matéria seca nas plantas de soja. Doses a partir de $0,25 \text{ kg ha}^{-1}$ aplicadas via foliar aumentaram o teor de Ni nos grãos acima do permitido para consumo (5 mg kg^{-1}). As doses utilizadas no tratamento de semente foram tóxicas e impediram o desenvolvimento da cultura.

Palavras chave: urease, aplicação, textura do solo, micronutriente

NICKEL IN SOYBEAN: DOSIS AND FORM OF APPLICATION

ABSTRACT

Soybean is an important source of protein for animal and human nutrition. Brazil is the second largest world producer. Nickel (Ni) was considered micronutrient because of its participation in urease enzyme that catalyzes the degradation of urea into carbon dioxide and ammonia. Ni deficiency inhibits urease activity that leads to accumulation of urea in leaves, causing appearance of necrotic spots, preventing crop development and can cause plant death in severe cases. Despite its importance, information about effect of Ni in Brazilian soils are insufficient, which makes the research of effect and application forms Ni in soybean important to establish its proper management. The proposed trial aimed to study the effect of Ni doses into soil, foliar and seed application, in absorption of Ni and its effects on transgenic soybean plant variety Anta 82, in soils with different textures, a dystrophic Red-Yellow (LVA), sandy texture, and a Red Oxisol (LV), loamy texture. An experiment was conducted in Campinas-SP, at IAC greenhouse following completely randomized design in factorial 3 X 4 (3 forms of application and 4 doses of Ni) with 4 replicates of each treatment, totaling 48 pots for each soil. Doses of Ni were applied as NiCl₂: 0, 0.5, 1 and 2 kg ha⁻¹ via soil application at planting; 0, 0.25, 0.5 and 1.0 kg ha⁻¹ foliar spraying at 20 days after planting (DAP) and 0, 0.25, 0.5 and 1.0 kg ha⁻¹ in seed treatment. It was evaluated the development of plants (height and leaf area), the accumulation of nutrients in plants, and urease activity in two seasons, flowering (40 DAP) grain filling (70 DAP). The final harvest was performed at 110 DAP. The addition of Ni to soil and foliar increased urease activity in soybean plants. The highest urease activity in soil treatment with Ni was 285.75 μmol NH₄⁺gm⁻¹h⁻¹, and foliar treatment was 266.87 μmol NH₄⁺gm⁻¹h⁻¹ at higher doses of Ni, in LVA. There was an increase of 2 cm in plant height when Ni was applied. The number of pods increased with application of Ni in soil from 9 to 13 pods in LVA. The absorption of Ni applied to soil depends on soil texture of. Adsorption of Ni in LV was 96% higher than adsorption in LVA. Dose of 0.5 kg ha⁻¹ applied in soil increased by 25% mass accumulation of dry matter in soybean plants cultivated in LV. Doses of 0.25 kg ha⁻¹ applied via foliar increased Ni content in the grains above allowed for consumption (5 mg kg⁻¹). The doses used in seed treatment were toxic and prevented the development of the crop.

Key words: urease, application, soil texture, micronutrient

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas de maior valor no mundo, por ser fonte de proteína para alimentação animal e humana, e também é recentemente utilizada para a fabricação de biocombustível, o que tem provocado aumento na demanda, reduzindo assim os estoques e aumentando os preços do mercado agrícola (ALOVISI, 2011).

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, tendo na safra de 2011/2012 produzido em torno de 70 milhões de toneladas do grão em 24 milhões de hectares. Apesar da produção de soja ter aumentado historicamente, a produtividade média de 3 mil kg ha⁻¹ (CONAB, 2012) ainda poderá ser melhorada, sendo que as variedades comerciais mais utilizadas tem potencial para 5 mil kg ha⁻¹ ou mais. Para isso, faz-se necessário o investimento em pesquisas e inovações tecnológicas no manejo nutricional da cultura, pois com o advento do uso do sistema plantio direto e das variedades transgênicas, o manejo da adubação de soja no País precisa ser melhorado. De acordo com MASUDA (2009), dentre os fatores que afetam a produtividade da soja, o manejo adequado de micronutrientes é um dos principais fatores que podem incrementar a produtividade da cultura.

O níquel (Ni) foi considerado micronutriente na década de 80 por BROWN et al. (1987). Sua essencialidade está em função da participação do Ni na metaloenzima urease, que catalisa a degradação da ureia em dióxido de carbono e amônia (DIXON et al., 1975), tornando esse elemento importante para o metabolismo do nitrogênio nas plantas. A deficiência de Ni, inibe a atividade da urease fazendo com que ocorra acúmulo de ureia nas folhas, ocasionando o aparecimento de manchas necróticas, impedindo o desenvolvimento da cultura e em casos mais severos provocando até a morte das plantas (DECHEN et al., 2007). Segundo BROWN et al. (1990) a deficiência de Ni tem uma vasta gama de efeitos sobre o crescimento das plantas e seu metabolismo. Além do metabolismo do N, estes incluem efeitos a respeito da absorção de ferro. Investigações preliminares (BROWN et al., 1987) também indicam que o Ni pode ter um papel na síntese de fitoalexinas e na resistência da planta a doenças.

Por outro lado, KLUCAS et al. (1983) observaram que a suplementação de Ni não teve efeito significativo sobre a matéria seca ou teor total de N das plantas de soja. No entanto, a adição de Ni tanto em plantas cultivadas com aplicação de nitrato de amônio quanto em plantas com fixação de simbiótica de N₂, resultou em um aumento de sete a dez vezes na atividade da urease nas folhas.

Apesar de haver diversos estudos com Ni em nutrição mineral de plantas pelo mundo, no Brasil são escassos os trabalhos com Ni em solos agrícolas, sendo que a maioria desses são estudos sobre a adsorção do elemento no solo. Segundo MELLIS et al. (2004), este elemento apresenta grande capacidade adsorptiva em solos com altos teores de óxidos e matéria orgânica. Além disso, ainda segundo os mesmos autores, o pH influencia diretamente a disponibilidade de Ni para as plantas, sendo que essa disponibilidade é baixa a partir de pH 5,5.

Poucos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil para demonstrar a importância do Ni para a cultura da soja. Apesar do micronutriente estar presente no mercado e na legislação brasileira de fertilizantes, as informações sobre as doses, as formas de aplicação e as respostas das plantas a sua aplicação ainda são insuficientes para a recomendação do uso agrícola de Ni.

Sendo assim, as seguintes hipóteses foram testadas nesse trabalho: a) A altura das plantas de soja aumentam com a aplicação de Ni; b) O efeito da aplicação de Ni em soja depende do teor de argila do solo; c) A aplicação de Ni via foliar é mais efetiva no aumento da atividade da urease nas folhas de soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ni em Solos

A concentração de Ni na crosta terrestre é de 0,018%, o que o torna o 25º elemento em abundância, sendo duas vezes mais abundante que o cobre (Cu). O Ni substitui o ferro (Fe) em formações minerais contendo enxofre (S), como exemplo na pirita. Também substitui magnésio (Mg) em minerais silicatados (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994).

O teor de Ni em solos depende da rocha de origem, porém estima-se que o teor médio mundial seja de 40 mg kg⁻¹. A concentração total de Ni em solos varia entre teores menores que 5 a 700 mg kg⁻¹ com um valor médio de 20 mg kg⁻¹ na camada de 0-20 cm. Em solos derivados de serpentina a concentração total de Ni pode variar de 80 a 7100 mg kg⁻¹ (UREN, 1992).

De acordo com CAMARGO et al. (2001), para o Estado de São Paulo, os valores mínimos e máximos de Ni no solo são de <10 a 126 mg kg⁻¹ para teores totais, e 0,10 a 1,40 mg kg⁻¹ para teores solúveis. Para CARIDAD CANCELA (2002) os teores totais de Ni em amostras de solo não contaminadas do Estado de São Paulo variaram de 14,8 a 50,2 mg kg⁻¹.

Além disso, os teores de Ni nos solos podem aumentar devido a interferência antrópica. De acordo com McGRATH (1995) as fontes potenciais que contribuem para a elevação do teor de Ni nos solos, são:

- a) os calcários e fertilizantes fosfatados, que contém até 300 mg kg^{-1} do micronutriente;
- b) a deposição atmosférica através da queima de combustíveis, óleos e combustão do carvão ($20 \text{ a } 800 \text{ g ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);
- c) ligas metálicas contendo Ni;
- d) os lodos de esgoto de indústrias;
- e) as baterias;
- f) os componentes eletrônicos;
- g) os cosméticos;
- h) e descarte inadequado de catalisadores.

Conforme destacado por KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001), o Ni total do solo pode ser fracionado da seguinte maneira: 58% na forma residual, 12% ligado à matéria orgânica, 15% associado a óxidos de Fe e Mn, 9% na forma trocável e 6% na forma solúvel.

O Ni na solução do solo geralmente se encontra na forma $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$. Sua atividade diminui com o aumento do pH e a atividade de ligantes orgânicos e inorgânicos, tais como sulfatos, hidróxidos, e ácidos orgânicos. Na fase sólida do solo, o Ni geralmente é encontrado na forma inorgânica, formando complexos com óxidos de Fe e Al (UREN, 1992).

O Ni apresenta grande afinidade com a matéria orgânica do solo (SENESI et al., 1989). CAMARGO et al. (1989) verificou que a adsorção de Ni em Latossolos do Estado de São Paulo correlaciona-se positivamente com a CTC efetiva e com os teores de matéria orgânica. MATTIAZO-PREZOTTO (1994) verificou que o pH é o fator mais importante para a determinação da distribuição do Ni entre a fase sólida e solúvel do solo. Em contrapartida, GOMES et al. (1997) mencionou que o Ni fica retido principalmente na fase mineral do solo.

2.2. Ni em Nutrição Mineral de Plantas

2.2.1. A essencialidade do Ni para as plantas

O Ni foi o último elemento considerado essencial para a vida das plantas (ESKEW et al., 1983, 1984 e BROWN et al., 1987). De acordo com DIXON et al. (1975), o Ni preenche o critério direto de essencialidade, sendo componente da urease, uma metaloenzima contendo Ni. O Ni está diretamente relacionado ao metabolismo do N nas plantas, e deve estar presente na síntese da enzima urease, que por sua vez, está envolvida nas principais rotas de assimilação do N (OLIVEIRA, 2009).

A urease desdobra a ureia hidroliticamente em amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2). A ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] se origina da amida arginina sob ação da enzima arginase. A deficiência de Ni, impedindo a ação da urease, leva ao acúmulo de ureia, o que causa manchas necróticas nas folhas. Como consequência da deficiência, o metabolismo de ureídeos, aminoácidos e de ácidos orgânicos é perturbado. Os ácidos oxálico e málico se acumulam (BAI et al., 2006). As manchas necróticas, associadas com a deficiência de Ni, coincidem com locais de acumulação de ureia ou dos ácidos oxálico e láctico, indicando também mudanças no metabolismo do carbono (C) e diminuição na respiração (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

Os primeiros relatos sobre o efeito de Ni em plantas se deram há cerca de 75 anos atrás, quando ARNON (1937) cultivou cevada em solução nutritiva e verificou ureiamaior produção de massa seca na presença de Ni, e ROACH e BARCLAY (1946) obtiveram aumentos na produtividade de trigo, batata e vagem com a aplicação de Ni através de pulverizações foliares.

Alguns pesquisadores relataram respostas positivas em plantas para adições de Ni, observando aumento nas taxas de crescimento da soja, arroz e tabaco com a aplicação desse micronutriente (POLACCO, 1977a; 1977b; POLACCO e HAVIR, 1979).

A deficiência de Ni pode ocorrer devido aos baixos teores disponíveis no solo ou induzida por outros fatores, tais como (MALAVOLTA e MORAES, 2007):

- a. altos teores de Ca, Mg, Cu e Zn, que inibem a absorção de Ni;
- b. menor disponibilidade após aplicações excessivas de calcário, que elevam o pH acima de 6,5;
- c. uso de altas doses de adubos fosfatados ou altos níveis de P no solo, que reduzem a

disponibilidade de Ni no próprio solo ou após absorção pela planta;

O Ni na forma solúvel é rapidamente absorvido pelas raízes e apresenta grande mobilidade na planta. Porém, a quantidade de metal absorvido depende da espécie vegetal (SAUERBECK e HEIN, 1991) e de sua disponibilidade de acordo com os aspectos mineralógicos do solo (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984).

A absorção do Ni é um processo ativo, sendo possível a utilização de canais não específicos e a participação de metalóforos (WELCH, 1995). Mais de 90% do Ni total das raízes e folhas de soja estão em formas solúveis (MALAVOLTA, 2006). Citrato e malato podem servir para o transporte no xilema (NIELSEN, 1984). No floema a mobilidade é alta, sendo que na senescência, até 70% do Ni acumulado na parte aérea pode ser deslocado para as sementes.

Sabe-se que altos teores de Ni nos tecidos vegetais podem inibir a fotossíntese e a respiração. Os sintomas de efeito tóxico podem ser relacionados a lesões nos tecidos, retardamento do crescimento e cloroses. O Ni pode ser acumulado nas folhas e grãos (REIS, 2002). KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001) relataram teores de Ni de 0,22 a 0,34 mg kg⁻¹ em grãos de milho cultivados em solo não contaminados, e de 1,6 a 5,2 mg kg⁻¹ em solos tratados com biossólido.

BROWN et al. (1987) relataram que a deficiência de Ni afeta a qualidade das sementes de cevada produzidas, dando origem a plantas que não completaram o seu ciclo sem a concentração adequada de Ni. A adição de Ni produziu respostas benéficas ao crescimento da aveia (BROWN et al., 1987), trigo (BROWN et al., 1987), tomate (CHECKAI et al., 1986), tomate e soja (SHIMADA et al., 1980a), e soja (WELCH, 1981).

2.2.2. Sintomas de deficiência e toxicidade de Ni

A deficiência de Ni é visualizada quando a ponta das folhas novas apresenta manchas escuras e arredondadas, dando-lhes um aspecto parecido com o da orelha do rato, nome dado ao sintoma (WOOD et al., 2004a). Há relatos da deficiência em pomares de noz pecã no Sudeste da Costa do Golfo e das Planícies Costeiras dos Estados Unidos (WOOD et al., 2004a). Inicialmente, foi atribuída a várias causas, como dano por baixa temperatura no verão, doença causada por vírus ou deficiência de manganês (Mn) ou cobre (Cu). Entretanto, a análise das folhas afetadas e das sadias revelou que os sintomas eram devidos à deficiência de Ni causada por baixos níveis no solo ou induzida por excesso de Zn (WOOD et al., 2004b).

SHIMADA et al. (1980a, 1980b) constatou que a soja e o tomate, quando cultivados em solução nutritiva com ureia como a única fonte de N, acumularam ureia em suas folhas e desenvolveram lesões necróticas em suas pontas de folhas. A adição de Ni aumentou a atividade de urease nas folhas e impediu a acumulação de ureia (SHIMADA e ANDO, 1980b).

Sintomas de deficiência de Ni dificilmente são detectados em plantas, porém o efeito fitotóxico do Ni é conhecido já há muito tempo. UREN (1992) cita trabalhos onde são relatados que teores de 2 mg kg^{-1} de Ni foram suficientes para inibir o crescimento de raízes. Também relata que foram observados sintomas de toxicidade em trigo quando o teor de Ni no solo era de 8 mg kg^{-1} , enquanto a aveia não apresentou qualquer sintoma quando o teor de solo era de 147 mg kg^{-1} . Dessas observações se conclui que a toxicidade de Ni é função da espécie vegetal sendo esta toxicidade normalmente associada à deficiência de Co (LOGAN e CHANEY, 1983; ADRIANO, 1986; McGRATH e SMITH, 1990). POULIK (1997) observou que plantas de aveia com teor de 168 mg kg^{-1} de Ni apresentaram sintomas de toxicidade e morreram. Por outro lado, o teor de Ni no solo menor do que 56 mg kg^{-1} aumentou a produção de espigas. O sintoma visual de toxicidade de Ni pode ser confundido com deficiências de outros elementos essenciais (PAIVA et al., 2003), tais como as cloroses causadas por Mn e Fe.

De acordo com MITCHELL (1945) o teor normal de Ni na matéria seca de plantas varia entre $0,1$ e 5 mg kg^{-1} . Esse valor depende da espécie, parte da planta amostrada, da época de amostragem, do teor de Ni no solo, da acidez do solo, entre outros fatores. ADRIANO (1986) concluiu que a toxidez de Ni se expressa quando a concentração de Ni for maior que 50 mg kg^{-1} na matéria seca das plantas, sendo exceção as espécies acumuladoras, como a alfaca, por exemplo, e hiperacumuladoras, tais como *Vellozia* spp., com mais de 3.000 mg kg^{-1} em suas folhas, e *Sebertia acuminata*, com $11.700 \text{ mg kg}^{-1}$ (BROOKS et al, 1990).

2.2.3. Respostas à adição de Ni

As fontes utilizadas para a aplicação de Ni podem variar entre sais, como o sulfato, nitrato e cloreto, até formulações com EDTA, como quelatos. No Brasil, a Instrução Normativa 05, de 23 de fevereiro de 2007, que controla o registro de fertilizantes e corretivos minerais apresenta uma lista de produtos para aplicação via solo ou foliar e estabelece a concentração mínima para registro. Para produtos de aplicação via foliar, solo ou fertirrigação, a quantidade mínima para registro é de $0,005\%$ e $0,01\%$ se o fertilizante for exclusivamente fonte de micronutrientes. Produtos para aplicação via

tratamento de sementes devem conter ao menos um micronutriente, sem concentração mínima (BRASIL, 2007).

Além de ser absorvido pelas raízes, o Ni pode ser absorvido pelas folhas (TEMP, 1991). Quando aplicado às folhas de *Helianthus annuus*, 37% do Ni foi translocado para outros órgãos da planta. Padrões semelhantes de translocação de Ni aplicado via foliar também foram observados em aveia, soja, tomate e berinjela por ANDREEVA et al. (2001).

Geralmente o Ni não está descrito na composição das soluções nutritivas e consideradas completas (NEVES et al., 2007). Porém, TAIZ e ZEIGER (2006) apresentaram uma variação da solução Hoagland e Arnon, onde é fornecido $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ de Ni, aplicado na forma de $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Além de aumentar a produção, a aplicação de Ni pode promover o aumento na germinação, a diminuição do ciclo das culturas, a resistência à doenças etc. De acordo com SMITH e WOODBURN (1984), quando adicionado à solução nutritiva, o Ni inibiu a produção de etileno por feijão e macieira, encurtando o ciclo produtivo das plantas. MISHRA e KAR (1974) e GERENDÁS et al. (1999) concluíram que pulverizações com sais de Ni são eficientes contra a infecção de ferrugens de seis diferentes espécies (centeio, soja, trigo, colza, abobrinha e girassol) devido à sua toxidez para o patógeno e também devido a mudanças causadas na fisiologia do hospedeiro que levam à resistência. FORSYTH e PETURSON (1959) demonstraram a ação de proteção e controle da ferrugem dos cereais (trigo e aveia) e do girassol após a aplicação de Ni. Em BROWN et al. (1987), as taxas de germinação de cevada aumentaram de acordo com o nível de Ni fornecida para a planta materna em três gerações precedentes. Plantas cultivadas sem adição de Ni ao meio de crescimento produziram grãos com baixa porcentagem de germinação, enquanto as plantas cultivadas com $1,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Ni em suas soluções nutritivas produziram grãos com porcentagens de germinação superiores a 95%. MALAVOLTA et al. (2006) verificaram que o Ni é o micronutriente mais acumulado em flores de laranjeira. Levando-se em consideração que o teor de NH_3 estimula o florescimento, observou-se que o Ni pode aumentar a quantidade de flores e a porcentagem de pegamento (LOVATT et al., 1988).

Embora promova benefícios às culturas, o manejo da adubação de Ni precisa ser adequado, pois o excesso desse micronutriente pode provocar a deficiência de outros nutrientes, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

PALACIOS et al. (1998) verificaram que em plantas de tomate cultivadas em solução nutritiva contendo de 0 a $510 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Ni, o micronutriente reduziu o teor de P nas raízes e nas folhas das

plantas, concluindo que o Ni restringiu a absorção de P pelas raízes, e também prejudicou a absorção de cátions bivalentes, como Mg, Fe, Cu, Mn e Zn. Os mesmos autores verificaram que a adição de Ni aumentou a absorção de K. Efeitos antagônicos em absorção de nutrientes são esperados quando há desequilíbrio na solução do solo, ou na solução nutritiva (MALAVOLTA et al., 1997)

CROOKE e INKSON (1955) verificaram em aveia que a aplicação de 42,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Ni via solução nutritiva reduziu a absorção de N, P, K e Mg, e aumentou a absorção de Ca.

De acordo com KHALID e TINSLEY (1980), os teores de Mn e Zn diminuíram com o aumento de doses de Ni aplicadas em *Lolium perenne*, mostrando o antagonismo desses elementos, enquanto menores doses de Ni aumentaram a absorção de Fe.

ALOVISI et al. (2011) estudaram a eficiência do uso de sulfato de Ni, via foliar, na cultura da soja, e concluíram que apesar da aplicação foliar aumentar consideravelmente os teores de Ni nas folhas de soja, não houve efeito na produtividade da cultura.

WOOD et al. (2006a), estudando o efeito do Ni em pomares de noz pecã cultivadas em solos com teores disponíveis variando de 0,4 a 1,4 kg ha^{-1} que apresentavam plantas deficientes de Ni, verificaram que aplicações de 10 a 100 mg L^{-1} de sulfato de Ni ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) via foliar durante a fase inicial de expansão da copa, ou logo depois da abertura das gemas, corrigiram a deficiência. Os autores verificaram através de análise foliar, que os teores de Ni eram de 7 mg kg^{-1} de Ni em plantas nomais, e 0,5 mg kg^{-1} em plantas deficientes.

CATALDO et al. (1978) demonstrou que ^{63}Ni é facilmente remobilizado do desenvolvimento de sementes para tecidos vegetativos. Assim, 200 ng de Ni foi a quantidade estimada exigida por uma planta de soja para prevenir a necrose nas pontas das folhas em desenvolvimento. Usando este valor e assumindo o peso de uma planta madura de soja entre 50 e 100 g (base seca), a concentração de Ni crítica no tecido da cultura da soja foi determinada entre 2 a 4 10^{-3} mg kg^{-1} de Ni no peso seco. A concentração crítica relatada de Mo tem sido entre 0,01 a 0,05 mg kg^{-1} de peso seco (JOHNSON, 1966). Assim, o Ni parece ser necessário para o crescimento normal da planta em uma concentração cerca de 1,3-30% das concentrações críticas de Mo.

Em trabalho com bétula feito em vasos, plantas pulverizadas com sulfato de Ni nas concentrações de 394 e 789 mg L^{-1} de Ni, na presença de ureia, mostraram crescimento normal sete dias após a aplicação (RUTER, 2005). SEREGIN e KOZHEVNIKOVA (2006) relatam que a

pulverização do algodoeiro com solução de sulfato de Ni de 234,8 mg kg⁻¹ teve efeito positivo, aumentando o número de gemas, de flores, a velocidade de crescimento das maçãs e no teor de óleo das sementes.

2.2.4. A importância do Ni para a cultura da soja

Alguns autores verificaram efeitos significativos desse micronutriente na fixação biológica e na atividade da urease das folhas.

Segundo KLUCAS et al. (1983), a fixação simbiótica do N está diretamente relacionada com o Ni, levando-se em consideração que o elemento aumenta a atividade da hidrogenase em bacterióides isolados dos nódulos. URETA et al. (2005) demonstraram que níveis abaixo de 0,1 mg kg⁻¹ de Ni disponível nos solos agricultáveis pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum*. BERTRAND e WOLF (1954), em análises de raízes, nódulos e parte aérea de várias leguminosas, como feijão e soja, detectaram altos teores de Ni e Co nos nódulos. Em BERTRAND (1973), a adição de até 40 g ha⁻¹ de Ni em vasos aumentou a nodulação e a produção de grãos de soja.

ESKEW et al. (1984) observaram que plantas de soja que foram cultivadas em solução nutritiva livre de Ni acumularam concentrações tóxicas de ureia, o que resultou em necrose na ponta dos folíolos, característica da deficiência de Ni. Experimentos anteriores (ESKEW et al., 1983) mostraram que a adição de 1 a 100 µg L⁻¹ de Ni a cada mudança da solução nutritiva melhorou a atividade de urease de sementes e folhas de soja e foi suficiente para impedir o acúmulo de níveis tóxicos de ureia. As sementes obtidas por ESKEW et al. (1983) foram usadas por ESKEW et al. (1984) demonstrando que 13 ng de Ni por semente foi suficiente para reduzir significativamente a incidência de necrose na ponta das folhas.

Em KLUCAS et al. (1983) a adição de NiCl₂ na solução nutritiva purificada aumentou em pelo menos 10 vezes a atividade da urease nas folhas de soja cultivadas em simbiose. Entre as plantas suplementadas com Ni, a atividade da urease foliar das plantas cultivadas simbioticamente foi maior do que em plantas que receberam nitrato como fonte de N. A urease desempenha um papel importante no metabolismo da ureia derivada do catabolismo de ureídeos, que são os principais compostos que transportam o N fixado a partir de nódulos em plantas de soja (McCLURE e ISRAEL, 1979). As folhas, portanto, seriam os principais órgãos em que a ureia é metabolizada.

A produção de sementes tende a aumentar à medida que a quantidade de Ni armazenado nas

sementes aumenta (ESKEW et al.,1984).

2.2.5. Fontes de Ni e formas de aplicação

As principais fontes de Ni disponibilizadas no mercado de fertilizantes são (MALAVOLTA, 2006):

- Cloreto de Ni (24% de Ni – solúvel)
- Nitrato de Ni (20% de Ni – solúvel)
- Sulfato de Ni (22% de Ni – solúvel)
- Carbonato de Ni (49% de Ni – insolúvel)
- Quelatos de Ni (Mínimo 2% de Ni – solúvel)
- Silicato de Ni (Mínimo 0,1% de Ni total – insolúvel)

Algumas dessas fontes estão presentes na Legislação vigente, sendo elas silicato, quelato, e sulfato de Ni (BRASIL, 2007).

As formas mais comuns de aplicação de Ni nas culturas são: tratamento de sementes, introdução via formulações NPK e pulverizações foliares. Porém, não há disponibilidade de informações sobre doses e período ideal para aplicação. De acordo com MALAVOLTA (2006) pode-se pensar em doses de Ni da mesma ordem de grandeza que as de Co.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi experimentar as doses e diferentes formas de aplicação de Ni em soja, utilizando-se uma das fontes conhecidas no mercado e seus efeitos na atividade da urease das folhas, crescimento das plantas e produtividade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delineamento Experimental

O presente estudo foi conduzido em vasos com capacidade de 5 dm³ na casa de vegetação pertencente ao Departamento de Fertilidade do Solo do IAC, em Campinas-SP.

Dois solos foram utilizados no experimento, sendo eles classificados de acordo com a EMBRAPA (1999) como Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV). Os solos foram coletados (camada de 0-20 cm), destorroados, peneirados em peneira de 2 mm

de malha e secos antes de caracterizados química e fisicamente. Para caracterização das amostras de solo foram utilizadas análises químicas de rotina, de acordo com o sistema IAC de análises de solo (RAIJ et al., 2001) e as análises físicas, conforme CAMARGO et al. (1986). A características químicas e físicas da camada 0-20 cm antes da instalação do ensaio estão apresentadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características químicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) antes da instalação do ensaio

Determinação	Unidade	LVA	LV
pH CaCl ₂		4,2	4,8
M.O.	g dm ⁻³	18	39
Fósforo	g dm ⁻³	3,0	14,0
Potássio	mmol _c dm ⁻³	0,4	3,4
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	4,0	42,0
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	1,0	8,0
Alumínio	mmol _c dm ⁻³	11,0	-
H+Al	mmol _c dm ⁻³	38,0	47,0
SB	mmol _c dm ⁻³	5,4	53,7
CTC	mmol _c dm ⁻³	43,4	100,7
V	%	12	53
Boro	mg dm ⁻³	0,19	0,38
Ferro	mg dm ⁻³	53,0	21,0
Cobre	mg dm ⁻³	0,3	7,0
Manganês	mg dm ⁻³	1,8	40,2
Níquel	mg dm ⁻³	0,01	0,27
Zinco	mg dm ⁻³	0,8	3,9

Tabela 2. Características físicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) antes da instalação do ensaio

Determinação	Unidade	LVA	LV
Argila	g kg ⁻¹	151	394
Silte	g kg ⁻¹	58	58
Areia muito fina	g kg ⁻¹	65	28
Areia fina	g kg ⁻¹	385	74
Areia média	g kg ⁻¹	297	218
Areia grossa	g kg ⁻¹	41	183
Areia muito grossa	g kg ⁻¹	4	45
Classificação textural		Franco-arenosa	Argiloarenosa

Antes da aplicação dos tratamentos com Ni, o índice de saturação por bases do solo foi elevado até 70%. Foi aplicado 18 g de calcário dolomítico contendo 24% de CaO e 7,0% de MgO, com PRNT de 71, no solo LVA, e 6 g do mesmo calcário no solo LV. Os dois solos foram homogeneizados em sacos plásticos e colocados nos vasos com 400 mL de água no LVA e 300 mL no LV.

Porções dos solos foram incubados por cerca de 30 dias mantendo a umidade em 50% da capacidade de campo diretamente nos vasos. Após esse período o solo foi retirado dos vasos, destorroado e homogeneizado. O solo de cada vaso recebeu fertilizante suficiente para que os teores de nutrientes fossem: 60 mg kg⁻¹ de N (MAP), 200 mg kg⁻¹ de P (MAP e MKP), 60 mg kg⁻¹ de K (KCl e MKP), 30 mg kg⁻¹ de S (MgSO₃). Para o solo LVA foi adicionado também as seguintes quantidades de micronutrientes: 0,5 mg kg⁻¹ de B (H₃BO₃), 1 mg kg⁻¹ de Cu (Cu-EDTA), 2,5 mg kg⁻¹ de Mn (Mn-EDTA) e 5 mg kg⁻¹ de Zn (Zn-EDTA), de acordo com ABREU (1992).

O experimento foi conduzido seguindo delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 X 4, sendo três formas de aplicação: via semente, via foliar e via solo, e 4 doses de Ni utilizando-se a fonte NiCl₂ P.A. (240 g kg⁻¹ de Ni), com 4 repetições de cada tratamento, totalizando 48 vasos para cada solo.

As doses de Ni aplicadas em cada tratamento foram respectivamente:

- 1) Aplicação via solo: 0, 0,5, 1 e 2 kg ha⁻¹ de Ni
- 2) Aplicação via foliar: 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ de Ni
- 3) Aplicação via semente: 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ de Ni

3.2. Instalação e Condução do Experimento

As doses de Ni aplicadas via solo foram adicionadas ao solo na mesma época da aplicação dos micronutrientes. Foram preparadas três soluções, a primeira contendo 12,5 mg de NiCl₂ (para a dose de 0,5 kg ha⁻¹), a segunda contendo 25 mg (para a dose de 1,0 kg ha⁻¹), e por último a solução contendo 50 mg de NiCl₂ (para a dose de 2,0 kg ha⁻¹). Para cada dose de Ni no solo foram utilizadas 100 mL de cada solução correspondente por vaso. A camada superficial de 2 a 3 cm dos solos LV e LVA foi retirada, adicionada a solução correspondente para cada dose aplicada via solo, e recoberta com o solo retirado. Dessa maneira as primeiras raízes emitidas entraram diretamente em contato com a solução do solo contendo Ni.

A variedade de soja escolhida para o experimento foi a Anta 82, transgênica, superprecoce, tolerante ao acamamento com ciclo total de aproximadamente 110 dias. Posteriormente foram semeadas 10 sementes por vaso. Essas sementes foram tratadas com inoculante turfoso na dose de 0,1 g kg⁻¹ de semente, inseticida, fungicida, Co (0,015 mg g⁻¹ de semente) e Mo (0,3 mg g⁻¹ de semente), conforme demonstrado na Figura 1. O desbaste foi feito aos 20 dias após o plantio, mantendo 6 plantas por vaso.



Figura 1: Semeadura da soja.

Aos 7 dias após o plantio, foi observado que as plantas tratadas com doses de Ni via semente não germinaram, ou demonstraram sinais de fitotoxidez nas doses mais elevadas do tratamento de semente, de 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ de Ni, conforme demonstrado na Figura 2. Em razão disso as doses de Ni inicialmente propostas para o tratamento de sementes não fizeram parte da análise estatística final.



Figura 2: Efeito fitotóxico da dose 0,5 kg ha⁻¹ de Ni aplicado via semente no LVA (esq.) e LV (dir.).

As doses de Ni via foliar foram aplicadas aos 20 dias após o plantio de acordo com ALOVISI (2011).

A irrigação dos vasos foi feita com água deionizada para evitar contaminações, de modo a não ultrapassar o limite máximo de 70% da capacidade de campo dos solos.

A adubação de cobertura foi realizada com 60 mg kg⁻¹ de K (KCl). Foram feitas duas pulverizações foliares contendo 0,25 mg de Mn (Mn-EDTA) para cada vaso.

Após a primeira coleta das plantas aos 40 dias após o plantio, percebeu-se que a nodulação da soja não havia sido efetiva em nenhum solo e dose estudadas. As plantas não apresentaram sintomas de deficiência de N, porém, na coleta de material vegetal, os baixos teores de N foram observados. Sendo assim, foi aplicado nitrato de amônio como fonte de N para as plantas.

A escolha do nitrato de amônio como fonte de N está de acordo com OLIVEIRA (2009), onde foi verificado que plantas de alface que receberam nitrato de amônio foram capazes de absorver maior

quantidade de Ni do solo em comparação com plantas que receberam ureia. De acordo com OLIVEIRA (2009), comparando-se as fontes de N, nitrato de amônio e ureia, adicionadas ao solo, houve diferença significativa na produção de matéria seca das plantas de alface, sendo que os tratamentos que receberam nitrato de amônio apresentaram produção maior do que as que receberam ureia. Isso ocorreu devido às diferentes reações que ocorrem com ureia e nitrato de amônio no solo, pois quando a ureia é aplicada ao solo ocorrem perdas de N por volatilização devido a hidrólise enzimática, o que é potencializado se a ureia for aplicada na superfície do solo. Foi feita uma aplicação de N na forma de nitrato de amônio aplicada aos 50 DAP, de forma a disponibilizar 70 mg kg^{-1} de N.

O controle de pragas e doenças foi feito ao longo da condução do experimento utilizando Imidacopride (200 g L^{-1}) e Difenconazol (250 g L^{-1}) na dose recomendada pelo fabricante. A condução do experimento pode ser visualizada na Figura 3.



Figura 3: Soja em três períodos de seu desenvolvimento (início, época do florescimento e enchimento dos grãos).

A altura das plantas foi mensurada aos 20, 30, 41, 56, 66 e 87 dias após o plantio, a partir da superfície do solo até o meristema. Dessa forma pode ser verificado o efeito da aplicação de Ni, via solo e via foliar, no desenvolvimento vegetativo das plantas de soja.

A área foliar foi medida por equipamento integralizador de área logo após as coletas efetuadas aos 40 e aos 70 DAP. Para determinação do Ni total nos solos LV e LVA foi utilizada a metodologia EPA 3051 pelo Laboratório de Fertilizantes e Resíduos do IAC.

3.3. Análises Químicas

3.3.1. Análise da parte aérea, grãos e solos

No início do florescimento, aos 40 dias após o plantio, foi realizada a coleta de duas plantas por vaso, e determinou-se a área foliar por equipamento integralizador de área, e também a sua massa verde. As amostras foram lavadas em água corrente, água com detergente, enxaguadas com água normal e água destilada para a descontaminação da camada superficial das folhas, evitando assim erros na determinação do Ni, principalmente onde foi aplicado Ni via foliar. As plantas lavadas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até massa constante, determinando-se a massa seca das plantas. Posteriormente as amostras da parte aérea foram moídas em moinho tipo Willey e determinou-se a concentração de nutrientes na parte aérea da soja conforme o método descrito por BATAGLIA et al. (1983). Nesta mesma semana foram coletadas amostras do primeiro trifólio desenvolvido de duas plantas por vaso para a determinação da atividade da urease *in vivo* conforme metodologia adaptada de HOGAN et al. (1983), descrita por NETO (2009).

Decorridos 70 dias após a semeadura, no início do enchimento de grãos, foram coletadas duas plantas de cada vaso, sendo efetuadas as mesmas determinações descritas acima, assim como também a contagem do número de trifólios e número de vagens.

A partir do início da senescência, as folhas caídas passaram a ser coletadas para a pesagem da massa de matéria seca final. Aos 110 dias após o plantio, as últimas duas plantas de cada vaso foram coletadas (Figura 4), separando-se os grãos, e foram feitas as análises do teor de nutrientes conforme método descrito acima, contagem do número de vagens por planta, e número de grãos por vagem. Após a colheita das duas últimas plantas, aos 110 DAP, o solo de cada vaso foi retirado e homogeneizado, de onde foram retiradas amostras para a determinação de atributos químicos de LVA e LV, de acordo com RAIJ et al. (2001).

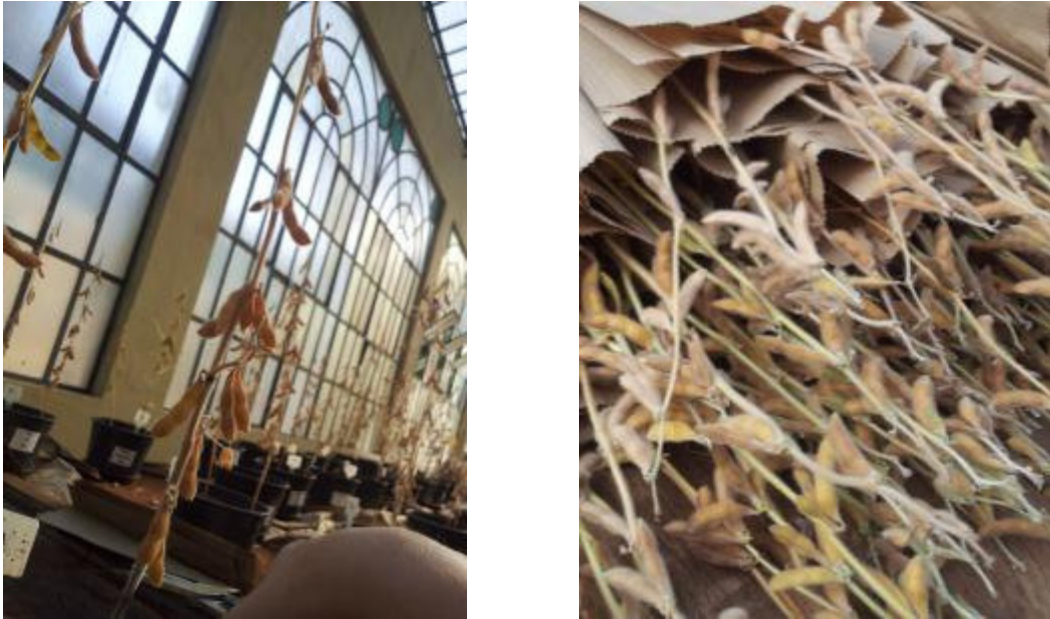


Figura 4: Detalhe das últimas plantas de cada vaso que foram coletadas aos 110 DAP.

3.3.2. Determinação da atividade da urease nas folhas de soja

As amostras de tecido fresco foram coletadas pela manhã, acondicionadas em sacos plásticos, e colocadas em caixas de isopor com gelo para manter a baixa temperatura e atividade enzimática.

Foram obtidos 100 mg de massa fresca em forma de discos foliares, que foram colocados em tubos de ensaio com 8 mL de tampão fosfato com ureia (pH 7,4) previamente preparado para a determinação de NH_3 . A solução tampão foi preparado com NaH_2PO_4 ($0,20 \text{ mol L}^{-1}$), Na_2HPO_4 ($0,50 \text{ mol L}^{-1}$), n-propanol ($0,66 \text{ mol L}^{-1}$), Ureia ($0,21 \text{ mol L}^{-1}$). O n-propanol é a substância responsável por aumentar a permeabilidade dos tecidos e evitar a formação de amônia pela presença de contaminantes microbianos. As amostras foram encubadas em banho maria a 30°C , durante 3 h, protegidas da luz com papel alumínio e agitação constante. Os passos dessa etapa são mostrados na Figura 5.

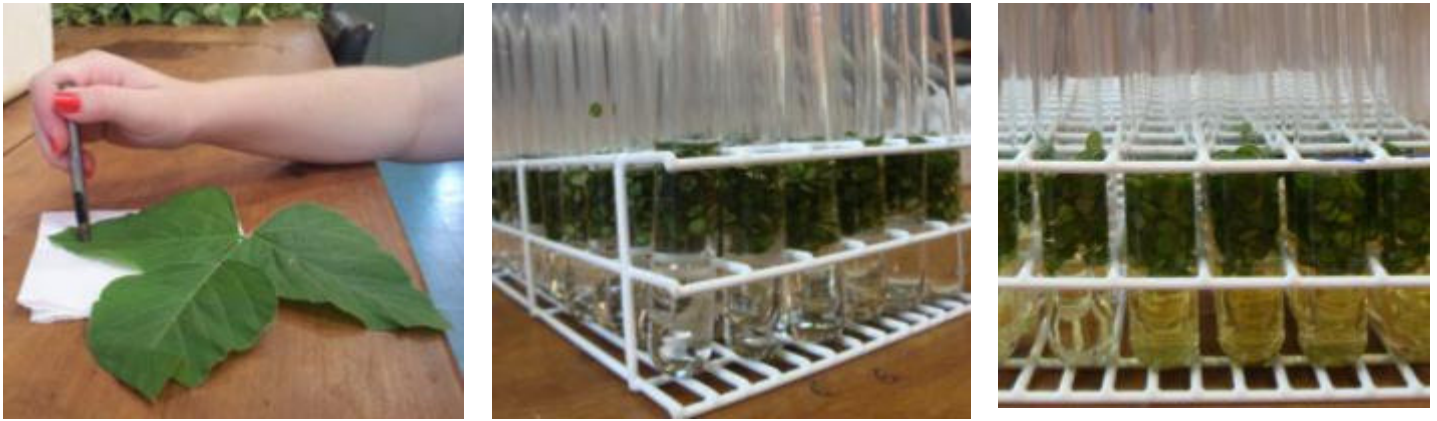


Figura 5: Coleta de discos foliares; embebição com solução tampão, e detalhe da coloração da solução após o banho-maria.

A determinação do N-NH_4 foi realizada conforme método de McCULLOUGH (1967) e descrita em NETO (2009). Em 0,5 mL do extrato obtido após a incubação foi adicionado 2,5 mL do Reagente I (Fenol $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, nitroprussiato de sódio – $170 \mu\text{mol L}^{-1}$) e 2,5 mL do Reagente II (NaOH $0,125 \text{ mol L}^{-1}$, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ $0,15 \text{ mol L}^{-1}$, NaOCl - 3% Cl_2). Os tubos foram tampados para evitar a perda de NH_3 e colocados em banho maria a 37°C por 35 min. Detalhes da segunda etapa de análise da atividade da urease podem ser visualizados na Figura 6. Após esse tempo, realizou-se a leitura colorimétrica da reação em espectrofotômetro a 625 nm.

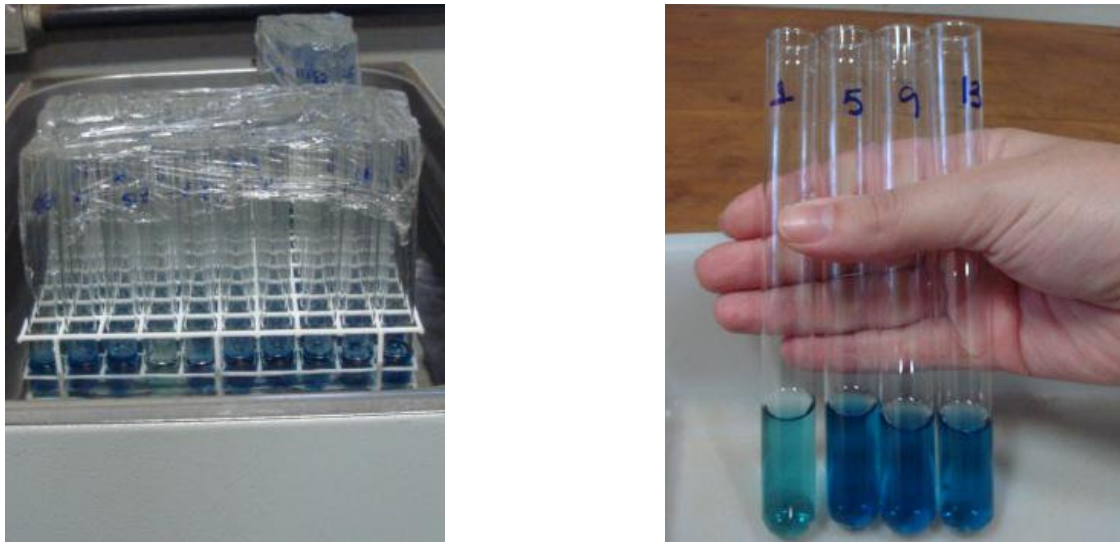


Figura 6: Amostras em banho-maria em contato com a solução contendo Reagente I e II; detalhe da coloração azulada demonstrando o efeito na atividade da urease na formação de (NH_4^+) com as crescentes doses de Ni.

A atividade da urease foi determinada pela quantidade de amônio (NH_4^+) produzida, e os valores obtidos foram comparados a uma curva padrão, previamente estabelecida utilizando-se NH_4Cl como padrão de amônio. Os resultados obtidos nos tratamentos foram expressos em $\mu\text{mol NH}_4^+ \text{ gm}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

3.3.3. Adsorção de Ni

Para melhor compreender o comportamento do Ni nos dois solos estudados foram feitas as análises de Ni total e a adsorção de Ni.

Os estudos de adsorção de Ni seguiram o procedimento de HARTER e NAIDU (2001) e descrito em MELLIS (2006).

Para a adsorção adotou-se solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ como eletrólito suporte e as seguintes concentrações de Ni como NiCl_2 : 0; 1; 3; 5; 10; 20; 30; 40 e 60 mg L^{-1} .

Amostras de 2,0 g de TFSA de cada solo foram pesadas e colocadas em agitador a 100 oscilações por minuto por 24 h, em tubos de polietileno, em contato com 20 mL de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ contendo as diferentes concentrações de Ni. A análise foi feita com duas repetições para cada concentração.

Após a agitação foi determinado o pH final de cada amostra. As amostras foram centrifugadas por 15 min para a separação das fases líquida e sólida, filtradas em papel de filtro qualitativo e reservadas. A análise do Ni na solução de equilíbrio foi determinada por espectrometria de emissão atômica em plasma (ICP-AES).

A concentração de Ni adsorvido aos solos foi determinada pela expressão: $\text{Ad}=(\text{Ci}-\text{Cf})\times\text{D}$, onde Ad é a quantidade de metal retido na fase sólida, Ci é a concentração de Ni na solução colocada em contato com o solo, Cf é a concentração de metal remanescente na solução após a agitação e D é o fator de diluição, que considera a relação soluto-solução ($\text{D} = 20 \text{ mL de solução}/2,0 \text{ g de TFSA} = 10$).

Gráficos foram elaborados em função do Ni na concentração de equilíbrio. Com o auxílio do programa *CurveExpert 1.4* (HAYMS, 2004) foram obtidos parâmetros para os modelos de Langmuir e Freundlich.

3.4. Análise Estatística

As análises estatísticas foram feitas no software *R* (2008). Os dados foram analisados preliminarmente através de parâmetros descritivos: média, desvio padrão, coeficiente de variação. Os dados foram submetidos a análise de variância, pelo teste F. Quando o efeito das doses de Ni, solos e formas de aplicação foram significativos, foi realizado um estudo de regressão. Em todas as análises descritas acima, o nível de significância adotado foi igual a 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teor Total e Adsorção de Ni nos Solos Estudados

O teor de Ni total determinado nos solos estudados antes do cultivo era de 170 mg kg⁻¹ no LV e menor que 2,4 mg kg⁻¹ de solo no LVA (abaixo do limite de detecção do método). Esses valores podem ser considerados como representativos porque estão de acordo com levantamento realizado por CAMARGO et al. (2001), que concluíram que para o Estado de São Paulo, os valores mínimos e máximos de Ni no solo estão entre 10 e 126 mg kg⁻¹ para teores totais, e entre 0,10 e 1,40 mg kg⁻¹ para teores solúveis, respectivamente.

Para entender melhor a dinâmica do elemento no solo, foi realizado um ensaio de adsorção no qual foi calculada a capacidade de retenção de Ni através das isotermas de Langmuir e Freundlich (Figura 7 e 8). Os dados das equações de Langmuir ($q = k \times Ads_{max} \times C_{eq} / (1 + k \times C_{eq})$) e Freundlich ($q = K_F \times C_{eq}^{1/n}$) foram apresentadas na Tabela 3, onde q = quantidade de metal adsorvido (mg kg⁻¹ de solo); C_{eq} = concentração do metal na solução de equilíbrio (mg dm⁻³); Ads_{max} = capacidade máxima de adsorção (mg kg⁻¹); k = constante relacionada com a energia de ligação do metal no solo (mg dm⁻³); K_F = coeficiente de adsorção de Freundlich que pode sugerir a adsorção do metal no solo; e n indica qualitativamente a reatividade dos sítios de ligação do solo (SODRÉ, 2001).

Tabela 3: Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para a adsorção de níquel em dois solos, Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV), cultivados com soja

Solo	Freundlich		Langmuir	
	K_F	n	Ads_{max}	k
LV	70,86	0,5626	545	0,1091
LVA	11,644	0,6947	277,3	0,02859

A adsorção máxima de Ni no LV foi cerca de 96% maior no LV, 545 mg kg⁻¹, em comparação à verificada no LVA, de 277,2 mg kg⁻¹ (Tabela 3).

Na determinação de Ni adsorvido em LV, entre a concentração de equilíbrio de 1,36 e 1,86 mg dm⁻³, houve aumento da adsorção de Ni de 123 e 101%. A partir da concentração de equilíbrio 3,59 mg dm⁻³, a adsorção de Ni aumentou exponencialmente a 42, 28 e 25% com o aumento da concentração de equilíbrio. A curva de adsorção de Langmuir demonstra que a partir da concentração de equilíbrio de 20 mg dm⁻³, ocorreu a redução da adsorção de Ni no solo de textura mais argilosa. O maior valor de Ni adsorvido determinado em LV foi de 376,5 mg kg⁻¹ na concentração de equilíbrio 22,34 mg dm⁻³ (Figura 7). Na determinação de Ni adsorvido em LVA, solo de textura mais arenosa, o maior valor de Ni adsorvido determinado em LVA foi de 150,3 mg kg⁻¹ na concentração de equilíbrio 44,97 mg dm⁻³ (Figura 8), valor 150% menor do que o maior valor de Ni adsorvido determinado em LV. O LV é o solo com maior teor de argila, 394 g kg⁻¹ (Tabela 2), maior quantidade de matéria orgânica, de 36,7 g dm⁻³, e maior C.T.C, 110 mmol_c dm⁻³ (Tabela 1), colocando os resultados de acordo os dados de CAMARGO et al. (1989) e MELLIS et al. (2004). De acordo com os dados obtidos, é possível compreender a capacidade de máxima adsorção de Ni do LV ser muito maior do que a capacidade de máxima adsorção de Ni do LVA, devido ao teor de matéria orgânica e C.T.C. dos solos.

CAMARGO et al. (1989) verificaram que a adsorção de Ni em Latossolos do Estado de São Paulo correlaciona-se positivamente com a CTC efetiva e com os teores de matéria orgânica. De forma semelhante MELLIS et al. (2004) estudaram a adsorção de Ni em solos do Estado de São Paulo e verificaram grande afinidade desse elemento aos óxidos e a matéria orgânica. De acordo com MELLIS et al. (2004), a adsorção de Ni diminui em Latossolos com a eliminação da matéria orgânica. Desta forma pode-se inferir que em áreas cultivadas no sistema plantio direto, o contínuo aporte e a consequente elevação do teor de matéria orgânica do solo pode interferir na adsorção do Ni e consequentemente na sua absorção pelas plantas. Além disso, em solos com mineralogia predominantemente oxídica e com maior teor de argila, uma maior adsorção de Ni também é esperada.

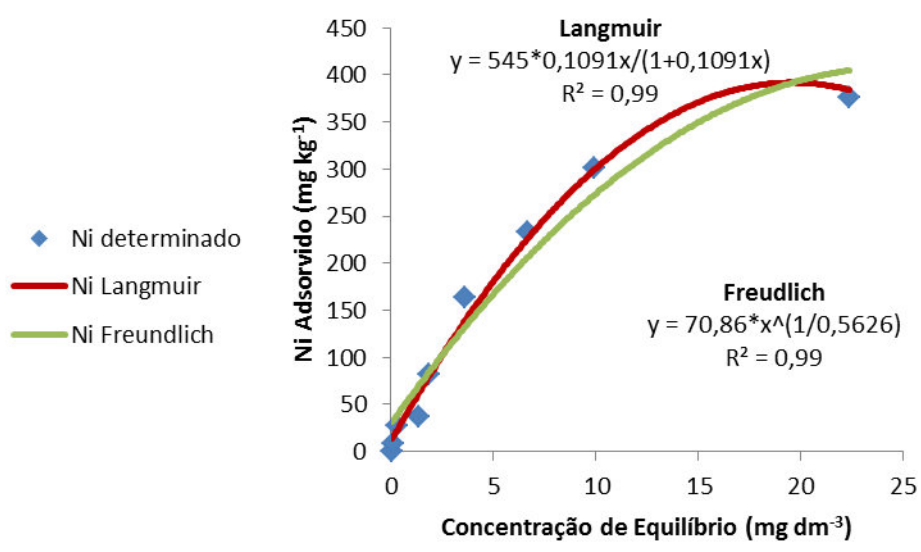


Figura 7: Adsorção de níquel em Latossolo vermelho eutroférrico, argiloso (LV) e ajuste dos dados experimentais aos modelos de Langmuir (vermelho) e Freundlich (verde).

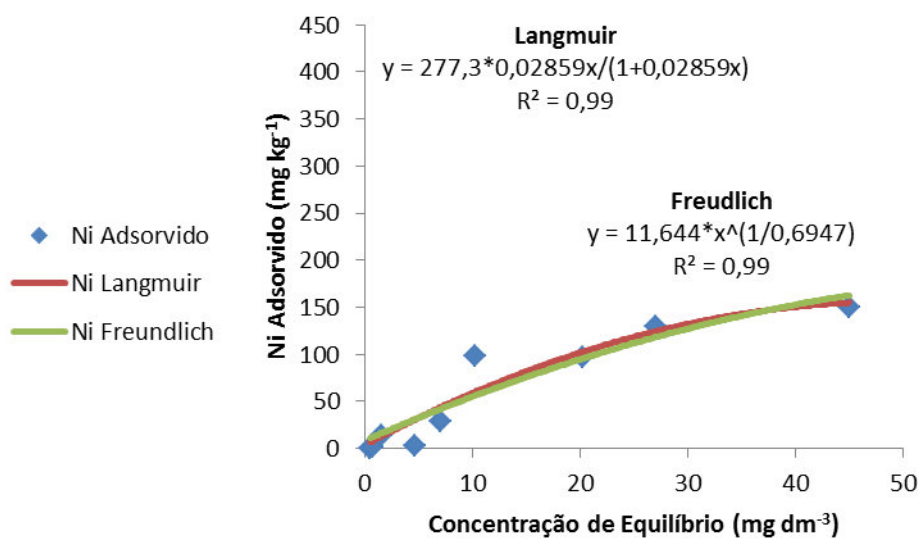


Figura 8: Adsorção de níquel em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e ajuste dos dados experimentais aos modelos de Langmuir (vermelho) e Freundlich (verde)

4.2. Atributos Químicos dos Solos após a Colheita da Soja Tratada com Ni

Os atributos químicos dos solos após a colheita da soja tratada com Ni encontram-se na Tabela 4. Os valores de pH, CTC e índice de saturação por bases encontram-se todos dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura conforme OLIVEIRA JUNIOR et al. (2010). Em relação aos macronutrientes, também observou-se que os teores disponíveis nos solos após o cultivo estavam acima dos níveis críticos estabelecidos para a cultura da soja OLIVEIRA JUNIOR et al. (2010).

De acordo com RAIJ (2011), os teores de micronutrientes encontrados em ambos os solos após o cultivo também se encontravam em níveis adequados, demonstrando que as adubações realizadas no período foram suficientes para fornecer as quantidades de nutrientes adequadas para a produção de soja. Os teores de Ni disponível nos solos após a condução do experimento variaram conforme a dose e a forma de aplicação do micronutriente (Figuras 9 e 10). A média do teor disponível de Ni no solo aplicado via solo foi de $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$, e o teor de Ni disponível no solo aplicado via foliar foi de $0,17 \text{ mg kg}^{-1}$. De acordo o valor orientador da CETESB (2005) para os solos no Estado de São Paulo, a quantidade de Ni é de 13 mg kg^{-1} para referência, 30 mg kg^{-1} para o estado de alerta e 70 mg kg^{-1} para o nível de intervenção em área agrícola. Levando-se em consideração a densidade do solo igual a 1 kg dm^{-3} , as médias finais das aplicações, tanto via solo quanto via foliar, encontradas nos solos utilizados no experimento foram de $0,45 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,19 \text{ mg dm}^{-3}$ para o LV e LVA, respectivamente, ou seja, valores permitidos pela CETESB.

Tabela 4: Características químicas dos solos Latossolo vermelho-amarelo (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico (LV) após a colheita do ensaio.

Determinação	Unidade	LVA	LV
pH CaCl ₂		5,6	5,3
Matéria orgânica	g dm ⁻³	11	36
Fósforo	mg dm ⁻³	144	97
Potássio	mmol _c dm ⁻³	0,9	1,9
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	20	63
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	24	17
Enxofre	mg dm ⁻³	73	31
H+Al	mmol _c dm ⁻³	15	28
SB	mmol _c dm ⁻³	45	82
CTC	mmol _c dm ⁻³	60	110
V	%	75	75
Boro	mg dm ⁻³	0,77	0,48
Cobre	mg dm ⁻³	1,2	4,9
Ferro	mg dm ⁻³	42,6	15,9
Manganês	mg dm ⁻³	4,0	28,0
Níquel	mg dm ⁻³	0,2	0,4
Zinco	mg dm ⁻³	6,5	4,7

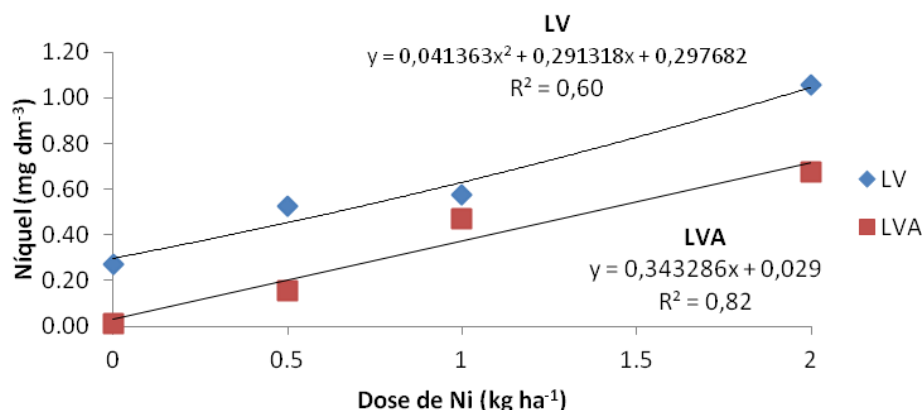


Figura 9: Teor de níquel disponível (Ni-DTPA) em Latossolo vermelho-amarelo, textura arenosa (LVA) e em Latossolo vermelho eutroférico, textura argilosa (LV) após o cultivo de plantas de soja tratadas com doses de Ni aplicadas via solo.

As regressões para as doses de Ni aplicadas via solo foram significativas tanto para o LV quanto para o LVA (Figura 9). Houve aumento linear de Ni disponível no solo para o LV e para o LVA com o aumento das doses de Ni aplicadas via solo. No LV o teor disponível de Ni aumentou de 0,30 na dose zero para 1,05 mg dm⁻³ na dose máxima aplicada (2 kg ha⁻¹). No LVA o aumento foi de 0,029 para 0,72 mg dm⁻³. A proporção de aumento do teor disponível de Ni em LV foi de 2,5 vezes entre a maior e a menor dose de Ni aplicada via solo, enquanto para o LVA, o aumento foi de 857 vezes. Esse maior aumento da proporção de Ni disponível em LVA pode ser explicado pela menor capacidade de adsorção de Ni nesse solo, de textura mais arenosa do que o LV, de textura mais argilosa (Tabela 3).

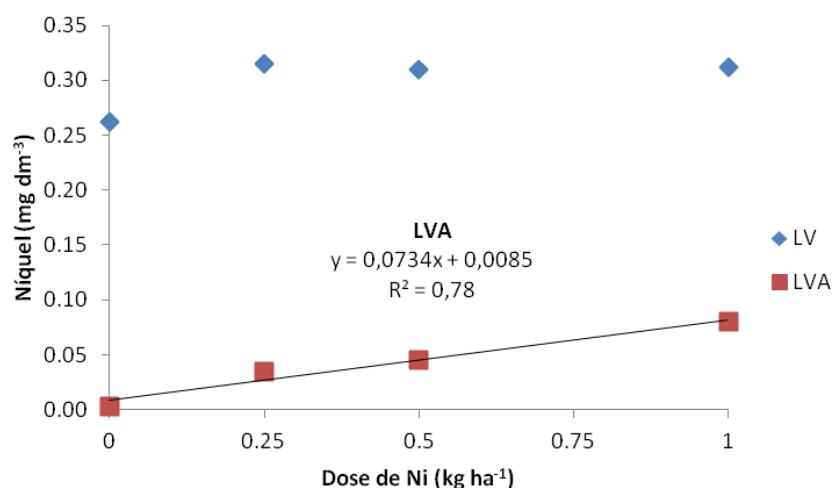


Figura 10: Teor de níquel disponível (Ni-DTPA) em um Latossolo vermelho-amarelo, textura arenosa (LVA) e em um Latossolo vermelho eutroférico, textura argilosa (LV) após o cultivo de plantas de soja tratadas com doses de Ni aplicadas via foliar.

Embora não fosse esperado aumento nos teores disponíveis de Ni devido a aplicação de doses desse micronutriente com a aplicação dos tratamentos via foliar, devido aos cuidados tomados na aplicação desse tratamento, observou-se aumento significativo de Ni disponível no LVA. Observa-se na figura 10 que esse incremento foi linear, aumentando de $<0,01$ na dose zero para $0,08 \text{ mg dm}^{-3}$ na maior dose de Ni aplicada via foliar, de 1 kg ha^{-1} . Embora esse aumento tenha sido estatisticamente significativo, a prática desse incremento provavelmente não exerceu efeito nos parâmetros avaliados na soja.

4.3. Acúmulo de Nutrientes nas Plantas

4.3.1. Macronutrientes na parte aérea das plantas aos 40, 70 e 110 dias após o plantio

Aos 40 dias após o plantio (DAP) verificou-se que o acúmulo de macronutrientes na parte aérea da soja, tanto na aplicação de doses de Ni via solo quanto via foliar, apresentou diferenças somente para o tipo de solo cultivado, exceto para o P, que não apresentou diferenças estatísticas, independentemente do tipo de solo e dose de Ni (Tabela 2 do Anexo I). As plantas de soja cultivadas no LV acumularam mais nutrientes que as plantas cultivadas no LVA. Isso se deve a melhor fertilidade natural no LV em relação ao LVA. Houve efeito da forma de aplicação de Ni no acúmulo de P e Mg, porém sem diferenças estatísticas entre as médias. Esperava-se que o fornecimento de Ni à soja promovesse maior absorção e acúmulo de N nas plantas, devido a sua importância no metabolismo deste nutriente. No solo argiloso (LV) a média geral de acúmulo de N nas plantas de soja foi de $114 \text{ mg planta}^{-1}$ para aplicação via solo e de $112 \text{ mg planta}^{-1}$ para aplicação foliar, independente da dose de Ni aplicada.

Aos 70 DAP o acúmulo de macronutrientes na parte aérea mostrou que houve efeito significativo do fator solo para o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nas plantas que receberam aplicação de Ni via solo. O acúmulo de N, K, Ca e S foi maior nas plantas cultivadas em LV do que nas plantas cultivadas em LVA. O acúmulo de P nas plantas aos 70 DAP foi maior em LVA, enquanto não houve diferenças estatísticas entre o acúmulo de Mg das plantas cultivadas em LV em relação as plantas cultivadas em LVA. Houve efeito das doses de Ni aplicadas via foliar no acúmulo de K nas plantas que receberam aplicação de Ni via foliar (Tabela 3 do Anexo I). O fator solo teve efeito significativo no acúmulo de N, P, K, Ca e S nas plantas tratadas com Ni via foliar, sendo que o acúmulo de N, P, K, Ca e S foi maior nas plantas cultivadas em LV, e o acúmulo de Mg foi maior nas plantas cultivadas em LVA. Não houve diferenças para as formas de aplicação de Ni no acúmulo de macronutrientes nas plantas de soja aos 70 DAP (Tabela 3 do Anexo I).

Aos 70 DAP pode ter iniciado um processo de remobilização dos nutrientes devido ao final do ciclo vegetativo e início do ciclo reprodutivo. De acordo com MARSCHNER (2012), em plantas de ciclo curto esse fenômeno é mais facilmente observado, já que as folhas maduras logo se tornam fonte de nutrientes para novos pontos de crescimento.

Aos 110 DAP, nas plantas que receberam aplicação de Ni tanto via solo como via foliar, as médias do acúmulo de N, K, Ca e Mg foram maiores no LV do que no LVA. As médias de acúmulo de P na parte aérea das plantas foram maiores em LVA nas duas formas de aplicação. As médias de S não mostraram diferenças significativas para os dois solos e formas de aplicação. Não houve diferenças significativas entre as formas de aplicação para o acúmulo de macronutrientes na parte aérea aos 110 DAP (Tabela 4 do Anexo I). Ao final do ciclo reprodutivo, aos 110 DAP, houve diminuição significativa do acúmulo de nutrientes na parte aérea. Isso pode ser explicado pela remobilização dos nutrientes, sendo que as plantas, ao iniciar sua fase reprodutiva, cessam a absorção dos nutrientes e reduzem o envio de carboidratos para as raízes (MARSCHNER, 2012). Pode-se verificar a redução do acúmulo de nutrientes e conseqüente redução na produção de biomassa, que será abordado no item 4.7.

Os resultados de acúmulo de macronutrientes nas plantas aos 110 DAP, tanto nas aplicações de Ni via solo quanto foliar, demonstram redução de até 3 vezes o acúmulo de K, Ca, Mg e S na parte aérea da soja, até 4 vezes o acúmulo de P, e de até 8 vezes o acúmulo de N na parte aérea da soja em relação ao acúmulo de nutrientes nas plantas aos 70 DAP. Segundo MARSCHNER (2012) no final do ciclo há uma grande translocação de nutrientes da parte aérea da soja para os grãos, principalmente N e P. Os grãos são caracterizados por altas concentrações de N e P e baixas concentrações de K, Mg e Ca, indicando que a maior parte do N e P foi remobilizada para os grãos (MARSCHNER, 2012). Nos tratamentos que receberam aplicação de doses de Ni via solo, observou-se que 70 a 80% do N e do S, 65 a 73% de P, e 65% do K da parte aérea foi translocado para os grãos, tanto nas amostras cultivadas no LV quanto em LVA. A translocação do Mg foi bem menor se comparado aos demais macronutrientes, ao redor de 17%. O Ca por ser um nutriente estrutural não foi deslocado da parte aérea para os grãos (Tabela 1 do Anexo I).

Nas plantas tratadas com doses de Ni via foliar, houve menor translocamento de N e S, cerca de 57% da parte aérea para os grãos, seguido de 65% de translocamento de P, 48% de K. O Mg e o Ca da parte aérea não foram deslocados para os grãos, o Ca por ser um nutriente estrutural e o Mg que também faz parte da clorofila e é pouco móvel nas plantas (Tabela 1 do Anexo I).

Os dados de remobilização de nutrientes com diferentes formas de aplicação de Ni em dois tipos de solo indicam que as plantas que receberam aplicação de Ni via solo poderiam estar em estágio mais avançado de maturação. O maior translocamento de nutrientes da parte aérea para os grãos é uma evidência de que o Ni pode auxiliar na redução do ciclo das plantas, provavelmente por seu efeito na atividade da urease e conseqüentemente no metabolismo de N. Alguns autores citam Ni como um importante nutriente na redução de estresses bióticos e abióticos. De acordo com POLACCO et al. (2013), a ureia endógena é formada pela ação da arginase, sendo a arginase uma importante forma de armazenamento de N e de transporte de aminoácidos também é precursora de poliaminas e prolina, compostos envolvidos em grande variedade de respostas das plantas ao estresse. O aumento da atividade da arginase pode levar ao aumento na produção de ureia endógena, que por sua vez, é metabolizada pela urease, metaloenzima contendo Ni. Conseqüentemente, um bom suprimento de Ni em plantas reduz a chance de aumento de necrose causada por ureia nas pontas das folhas e reduz também o efeito do estresse.

De acordo com WELCH et al. (1981), existem várias rotas bioquímicas que podem resultar em produção de ureia endógena. ESKEW et al. (1983) demonstraram que a ureia é produzida durante o metabolismo do N, e o Ni como componente da urease é requerido para prevenir o acúmulo de concentrações tóxicas de ureia. ARKOUN et al. (2013) concluíram que plantas de canola que cresceram com ou sem a adição de ureia necessitam de Ni, devido a formação interna de ureia no metabolismo do N, ocasionado pela formação de ureídeos. Nas leguminosas, tal como a soja, os ureídeos são importantes formas de transportar N fixado dos nódulos para a parte aérea e do floema para as sementes. Além disso, pode-se atribuir o papel do Ni como componente da urease no estímulo da germinação, sendo necessário o seu aporte às sementes ou diretamente no solo. Portanto, apesar do uso de nitrato de amônio no experimento atual, o Ni apresentou sua importância no metabolismo do N, conforme será demonstrado pelo aumento na atividade da urease, discutido posteriormente no item 4.4. Para próximos experimentos envolvendo o efeito do Ni nas plantas deve-se levar em consideração a análise da atividade de outras enzimas, tais como arginase e nitrato redutase.

4.3.1.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Aos 40 e aos 70 DAP não houve efeito significativo das doses crescentes de Ni aplicadas via solo quanto ao acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas, tanto em LV quanto em LVA.

Quanto ao acúmulo de macronutrientes na parte aérea aos 110 DAP, houve efeito do fator solo no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg com a aplicação de Ni via solo. O fator dose e a interação dose e solo foram significativos para o K em LVA ($y = -3,32227x^2 + 8,71714x + 10,3849$; $R^2=0,60$; $p<0,05$), e para o Mg em LVA ($y = -1,12932x^2 + 2,66716x + 3,03784$; $R^2=0,52$; $p<0,05$), ambos com efeito quadrático. Não houve ajuste para o acúmulo de Ca em relação a aplicação de doses crescentes de Ni via solo (Tabela 4 do Anexo I). No LV, a dose de 0,5 kg ha⁻¹ aplicada via solo apresentou resultados de maior acúmulo de K, Ca e Mg, aumento de 57% para o K, passando de 38,6 na dose zero de Ni para 60 mg planta⁻¹, aumento de 62% no acúmulo de Ca, de 25,7 para 41,7 mg planta⁻¹, e para o Mg o aumento no acúmulo na parte aérea das plantas foi de 11,3, na dose zero, para 17,4 mg planta⁻¹ na dose 0,5 kg ha⁻¹ de Ni, ou seja, de 57%. Em LVA, a dose 2,0 kg ha⁻¹ de Ni aplicada via solo apresentaram os menores acúmulos de K, Ca e Mg, com redução de 35% no acúmulo de K, 39% no acúmulo de Ca e 47% no acúmulo de Mg em relação a dose zero de Ni (Tabela 4 do Anexo I).

Há poucas, senão inexitem referencias sobre o efeito do Ni em soja. Apesar disso, estudos realizados com espécies distintas tais como alface (OLIVEIRA, 2009) e umbu (NEVES et al., 2007) não apresentaram resultados conclusivos e em ambos os teores de N foliar não foram afetados significativamente pela aplicação de Ni. Ao que pese o fato de que as plantas do ensaio de NEVES et al. (2007) foram conduzidas em solução nutritiva e as de OLIVEIRA (2009) em solo, ainda há carência de mais estudos sobre o tema para fundamentar conclusão mais acurada. As evidências existentes indicam que espécies diferentes têm respostas distintas ao níquel e relacionam-se de forma diferente na absorção de outros nutrientes. Em NEVES et al. (2007) os teores foliares de P em mudas de umbuzeiro responderam positivamente às doses de Ni na solução nutritiva. Resultado semelhante foi verificado por PAIVA et al. (2003), os quais ao avaliarem a influência de doses de Ni sobre o teor de P em mudas de ipê-roxo, verificaram que houve aumento nos teores do elemento, independentemente da parte da planta analisada. Aumento no teor de P em função da aplicação de Ni foi observado por outros autores trabalhando com diferentes espécies de plantas como ipê-roxo (MARQUES, 1996) e espécies arbóreas (YANG et al., 1996a, b). KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001) preconizam que a presença de Ni provoca antagonismo sobre a absorção de P, porém esse efeito não foi observado no experimento atual.

Este resultado deve ser analisado com certa cautela, tendo em vista no presente trabalho os teores de P foram mantidos em níveis elevados em função da adubação.

Assim como nesse trabalho, PALACIOS et al. (1998) verificaram que com a adição de Ni aumentou a absorção de K em plantas de tomate. Em PAIVA et al. (2003) não houve efeito de doses crescentes de Ni com o teor de K acumulado nas folhas de mudas de ipê-roxo tratadas em solução nutritiva. Em OLIVEIRA (2009) com o aumento das doses de Ni adicionadas a um latossolo argiloso, os teores de K nas folhas de alface permaneceram iguais. Aos 110 DAP houve efeito de dose de Ni em relação ao acúmulo de K na parte aérea. A dose de 0,5 kg ha⁻¹ aplicada via solo no LV resultou no acúmulo de 60,0 mg planta⁻¹ aos 110 DAP.

Em OLIVEIRA (2009) com o aumento das doses de Ni no solo, os teores de Ca nas folhas de alface tiveram aumento. Em PAIVA et al. (2003), o teor de Ca em mudas de aroeira diminuiu com o aumento das doses de Ni fornecidas via solução nutritiva, de 0, 2,5, 5,0, 10,0 e 15 mg L⁻¹. De acordo com MARSCHNER (2012), cátions divalentes como Ni⁺², competem de forma antagônica com outros cátions, como Ca⁺² e Mg⁺². Seria esperado que o acúmulo de Ca e Mg deveria ser menor na parte aérea das plantas com o aumento das doses aplicadas de Ni, porém conforme os resultados descritos, não foi observado efeito antagônico das doses de Ni com o acúmulo de Ca e Mg na parte aérea.

De acordo com OLIVEIRA (2009) com o aumento das doses de Ni adicionadas ao solo, houve aumento nos teores de Mg nas folhas de alface. PALACIOS et al. (1998) verificaram redução nos teores de Mg nas folhas dos tomateiros com o aumento das doses de Ni aplicadas na solução nutritiva. Em relação ao acúmulo de nutrientes em plantas que receberam aplicações via solução nutritiva, podem existir diferenças quanto ao acúmulo de nutrientes em plantas que receberam aplicação de Ni via solo, devido ao fator sorção que ocorre nesse meio, tanto para o Ni quanto para outros cátions, além das reações químicas e interações com outros nutrientes presentes no solo.

Em PAIVA et al. (2003) na matéria seca das folhas houve aumento do teor de S com o aumento das doses de Ni. KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001) afirmam que a presença de Ni não afeta a taxa de absorção de S, não exercendo qualquer efeito, nem antagonismo e nem sinergismo. Esses resultados estão de acordo com os resultados do acúmulo de S na parte aérea das plantas de soja aos 40, 70 e 110 DAP, onde não houve alteração dos resultados com o aumento das doses de Ni aplicadas, tanto via solo quanto via foliar.

4.3.1.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Aos 70 DAP houve efeito das doses de Ni aplicadas via foliar no acúmulo de K nas plantas de soja, porém sem ajuste ao modelo de regressão.

Aos 110 DAP, as doses de Ni aplicadas via foliar foram significativas para o acúmulo de K, Ca e Mg, e a interação entre os dois fatores foi significativa para o acúmulo de Ca e Mg (Tabela 4 do Anexo I). O acúmulo de K teve efeito significativo quadrático, independente do solo em que as plantas foram cultivadas ($y = -13,322x^2 + 30,855x + 35,93$; $R^2 = 0,70$), sendo que o maior acúmulo observado foi na dose de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ni aplicada via foliar, de $52,84 \text{ mg planta}^{-1}$, aumento de 38% no acúmulo de K em relação ao acúmulo observado na dose zero de Ni. A dose de $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ aplicada via foliar no LV resultou em acúmulo de $63,2 \text{ mg planta}^{-1}$. Em LVA, o aumento das doses aplicadas via foliar tiveram relação direta com o aumento do acúmulo de K na parte aérea das plantas, sendo que na dose zero o acúmulo foi de $28,5 \text{ mg planta}^{-1}$ e na dose $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ o acúmulo foi de $49,4 \text{ mg planta}^{-1}$. O K em cereais não é um elemento muito remobilizado para os grãos, portanto a relação sinérgica entre Ni e K pode ter mantido o acúmulo crescente do K na parte aérea das plantas mesmo após os últimos estágios do seu ciclo (Tabela 4 do Anexo I).

O acúmulo de Ca apresentou resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = -35,0718x^2 + 34,895x + 2,42702$; $R^2 = 0,94$), com aumento de $4,7 \text{ mg planta}^{-1}$ na dose zero de Ni, para $25,3 \text{ mg planta}^{-1}$ na dose $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 4 do Anexo I).

O acúmulo de Mg apresentou resposta quadrática em relação ao aumento das doses aplicadas via foliar para o LVA ($y = -20,3245x^2 + 20,1881x + 3,8843$; $R^2 = 0,93$). A maior dose aplicada via foliar, de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$, apresentou acúmulo de Mg de $20,8 \text{ mg planta}^{-1}$, aumento de 150% em relação ao acúmulo de Mg observado na dose zero de Ni, que foi de $8,4 \text{ mg planta}^{-1}$ (Tabela 4 do Anexo I). Ao avaliar a influência de doses de Ni aplicadas via foliar sobre o teor de nutrientes em mudas de ipê-roxo, PAIVA et al. (2003) constataram que houve redução nos teores de Mg na parte aérea das plantas, dados que diferem dos observados no experimento.

4.3.2. Micronutrientes na parte aérea da soja aos 40, 70 e 110 dias após o plantio

Aos 40 DAP, houve efeito do fator solo para o acúmulo de B, Cu, e Ni na parte aérea das plantas de soja tratadas com Ni via solo. O acúmulo de B e Cu nas plantas de soja foram maiores quando cultivadas no LVA em comparação com o LV, enquanto os teores de Fe e Mn foram maiores em LV

do que em LVA, apesar do efeito não significativo para o fator solo. O solo LV não recebeu adubação com micronutrientes, enquanto o LVA recebeu B, Cu e Mn, por isso o acúmulo maior de desses nutrientes em LVA, com exceção do Mn, devido ao alto teor de Mn disponível em LV (Tabela 5 do Anexo I). A interação entre a dose de Ni aplicada e o tipo de solo foi significativa para o acúmulo de Ni nas plantas que receberam Ni via solo, e será abordado no item 4.3.1.1 (Tabela 5 do Anexo I). Na aplicação via foliar, foi observado efeito significativo do fator solo para o acúmulo de B, Cu, Fe e Mn nas plantas de soja. Os teores de Fe, Mn e Ni foram maiores no LV do que no LVA, devido a maior disponibilidade desses micronutrientes no solo mais argiloso. As doses de Ni foram significativas para o acúmulo de Ni nas folhas. A interação dose e solo foi significativa para os teores de Fe nas plantas aos 40 DAP, e será discutida no item 4.3.2.2 (Tabela 5 do Anexo I)

Aos 40 DAP, para os dois solos, os resultados do acúmulo de Ni na parte aérea foi maior com a aplicação foliar do que com a aplicação via solo. Esse resultado era esperado devido à aplicação de Ni aos 20 DAP quando a soja se encontrava no estágio V4, 20 dias antes da colheita de amostras de plantas para a primeira avaliação (Tabela 5 do Anexo I). Pode-se levar em consideração que o Ni aplicado em forma de cloreto de Ni (NiCl_2) diretamente na superfície foliar pode ter sido retido na barreira cuticular, e não translocado para outras partes da planta. A média do acúmulo de Ni da aplicação via solo foi de $2,5 \mu\text{g planta}^{-1}$ (Figura 11), enquanto para aplicação via foliar foi de $86,1 \mu\text{g planta}^{-1}$ (Figura 14).

Aos 70 DAP, o acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas tratadas com Ni via solo apresentou efeito do fator solo sobre o acúmulo de B e Ni, sendo que houve maior acúmulo de B e Ni no LVA do que no LV. O maior acúmulo do B em LVA pode ser explicado pela maior quantidade do micronutriente aplicado nesse solo, e maior disponibilidade de B, enquanto o maior acúmulo de Ni pode ser explicado pelo fato do LVA, solo mais arenoso, ter menor capacidade de adsorção do elemento, e portanto deixando-o mais disponível para a absorção pelas plantas. O acúmulo de Ni apresentou efeito para os fatores dose, solo e interação entre eles, que será discutido no item 4.3.2.1 (Tabela 6 do Anexo I). Nas plantas tratadas via foliar, houve efeito do fator solo para o acúmulo de Cu, Fe e Zn, sendo que os teores de B, e Zn foram maiores no LVA, devido a maior adubação com esses nutrientes para suprir o cultivo da soja nesse solo, enquanto o Fe foi maior no LV, solo com maior fertilidade. O fator dose teve efeito sobre o acúmulo de B e Ni, e será discutido no item 4.3.2.2 (Tabela 6 do Anexo I).

Dentre os micronutrientes analisados, apenas o acúmulo de B, Cu e Ni nas plantas aos 70 DAP

apresentou diferenças quanto à forma de aplicação do Ni. A média do teor de Ni com a aplicação via solo foi de 5,5 $\mu\text{g planta}^{-1}$, enquanto a média na aplicação via foliar foi de 127,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (Tabela 6 do Anexo I). Os resultados de acúmulo de micronutrientes aos 70 DAP na parte aérea das plantas que receberam Ni foram 697,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de B no tratamento via solo e 655,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de B no tratamento via foliar. Houve diferenças para as médias de acúmulo de Cu, cujo resultado foi de 32,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu no tratamento via solo e 34,0 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu no tratamento via foliar (Tabela 6 do Anexo I).

Aos 110 DAP, para as plantas que receberam Ni via solo, o fator solo apresentou efeito significativo para o acúmulo de Cu, Fe, Mn, Ni e Zn. A interação dose x solo foi significativa para o acúmulo de Ni e Zn e será discutido no item 4.3.2.1. O acúmulo de Fe e Mn nas plantas foram maiores em LV, enquanto os teores de Ni e Zn foram maiores no LVA (Tabela 7 do Anexo I). Para as plantas que receberam Ni via foliar, houve efeito do fator dose no acúmulo de B, Cu, Fe, Mn, Ni e Zi, e a interação solo x dose foi significativo sobre o acúmulo de B, Fe, Ni e Zn, sendo discutido no item 4.3.2.2. O fator solo apresentou efeito significativo para o acúmulo de Cu, Fe e Zn, sendo que as médias do LV foram maiores do que as médias do LVA, devido a maior fertilidade do LV em comparação ao LVA (Tabela 7 do Anexo I)

Houve diferença significativa para a forma de aplicação no acúmulo de Ni da parte aérea das plantas, aos 110 DAP. As médias de aplicação de Ni via foliar e via solo foram de 9,5 e 2,8 $\mu\text{g planta}^{-1}$, respectivamente (Tabela 7 do Anexo I). O baixo acúmulo aos 110 DAP em relação ao acúmulo aos 70 DAP pode ser explicado devido a alta mobilidade do Ni no floema, sendo que na senescência, até 70% do Ni acumulado na parte aérea pode ser deslocado para as sementes (MALAVOLTA, 2006). No experimento, houve translocação de 54% do Ni da parte aérea para os grãos nas plantas que receberam o Ni via solo no LVA (Tabela 1 do Anexo I). Convém destacar que o LVA era o solo com menor capacidade de adsorção de Ni (Figura 8), e portanto, o elemento foi absorvido prontamente pelas plantas. No caso da aplicação de Ni via solo no LV, a translocação da parte aérea para os grãos foi reduzido, em até 182,2%, devido ao alto teor de Ni disponível no LV. Nesse caso deve ter havido seletividade ao absorver o nutriente em abundância, além da alta adsorção do Ni no solo LV (Figura 7).

No caso da translocação de outros elementos, cerca de 80 a 94% do Cu acumulado na parte aérea das plantas que receberam Ni via solo e via foliar pode ter sido acumulado nos grãos. Para o Fe, houve remobilização de 26,8% de Fe no LV e 32,2% de Fe no LVA da parte aérea para os grãos, nas plantas

que receberam Ni via solo. Em média 53% do Zn foi deslocado da parte aérea para os grãos nos tratamentos com Ni aplicado tanto via solo quanto via foliar (Tabela 1 do Anexo I).

Quanto a interferência das doses de Ni nos teores de Fe, não foi verificada redução significativa no acúmulo deste nutriente com as doses de Ni. Alguns autores concluem que em níveis elevados, o Ni interfere na absorção de Fe e inibe o seu metabolismo (AGARWALA et al., 1977). Por outro lado, de acordo com MALAVOLTA et al. (1997), há sinergismo entre o Fe e o Ni, onde a absorção de um aumenta a absorção do outro micronutriente. Os efeitos sinérgicos ou antagonísticos não foram observados. De acordo com ALLOWAY (1995) o Ni pode substituir o Fe devido à similaridade dos seus raios iônicos, porém a adição de Ni via foliar impede o antagonismo que pode ocorrer no solo. Isso pode ser comprovado na observação dos resultados de acúmulo de Fe nas plantas de soja que receberam Ni tanto via foliar quanto via solo, onde não ocorreu redução da quantidade de Fe nas plantas, apesar da aplicação de Ni (Tabelas 5, 6 e 7 do Anexo I). Não houve redução do acúmulo de Mn na parte aérea das plantas que receberam aplicação de Ni tanto via solo quanto via foliar (Tabelas 5, 6 e 7 do Anexo I). Em contrapartida aos resultados observados em relação ao Mn no presente estudo, YANG et al. (1996a) observaram redução na absorção de Mn na presença de Ni. KABATA-PENDIAS e PENDIAS (2001) preconizam haver antagonismo entre Mn e Ni, em termos de absorção.

Em relação ao acúmulo de Zn, no atual experimento também não houve antagonismo entre o acúmulo de Zn e o aumento das doses de Ni aplicadas tanto via solo quanto via foliar (Tabelas 5, 6 e 7 do Anexo I). Esses resultados corroboram com PAIVA et al. (2003), onde não foi observado efeito no acúmulo de Zn na matéria seca das folhas de ipê-roxo com as doses crescentes de Ni.

4.3.2.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Aos 40 DAP, no LV, foi observado que para a aplicação via solo na dose zero, sem a aplicação de Ni, o acúmulo de Ni foi de 2,7 $\mu\text{g planta}^{-1}$, enquanto que com a aplicação de 2 kg ha^{-1} de Ni o acúmulo foi de 3,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$, ou seja, o acúmulo de Ni na parte aérea da soja aumentou 25%. No LVA, o acúmulo de Ni foi de 1,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ na dose zero e de 5,8 $\mu\text{g planta}^{-1}$ com a aplicação de 2 kg ha^{-1} de Ni (Tabela 5 do Anexo I), aumento de 3 vezes no acúmulo de Ni na parte aérea. O maior acúmulo de Ni nas plantas cultivadas no LVA se deve provavelmente a maior disponibilidade desse micronutriente nesse solo que é favorecida pela sua textura arenosa. Conforme observou-se no item 4.1, a adsorção de Ni no LVA é menor que no LV, o que permite concluir que o Ni aplicado ao solo foi menos adsorvido no LVA permanecendo disponível para a absorção da soja em maior quantidade nesse solo (Figura 7 e Figura 8).

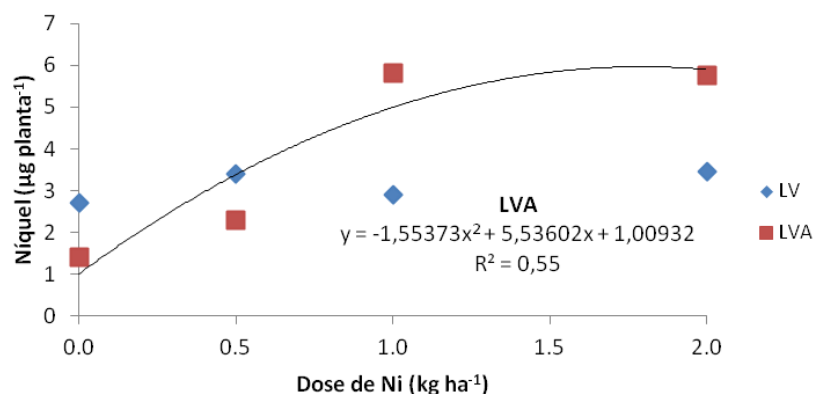


Figura 11: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP.

No LVA, aos 40 DAP, o acúmulo de Ni na parte aérea das plantas de soja apresentou efeito quadrático em relação a aplicação das doses crescentes de Ni via solo. O maior incremento foi dado pela dose 1,0 kg ha⁻¹, cujo aumento foi de 152% em relação a dose 0,5 kg ha⁻¹ aplicada via solo (Figura 11).

Aos 70 DAP, a adsorção de Ni, maior em LV do que em LVA passou a demonstrar efeito no acúmulo de Ni na parte aérea das plantas. Nas doses de Ni aplicadas via solo em LV, a dose zero de Ni resultou em acúmulo de 2,7 µg planta⁻¹, seguida por 3,7, 3,9 e 5,1 µg planta⁻¹ nas doses 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹ de Ni respectivamente (Figura 12). No LVA, a dose zero resultou em acúmulo de 1,8 µg planta⁻¹. A dose 0,5 kg ha⁻¹ de Ni resultou em acúmulo de 5,7 µg planta⁻¹. A partir da dose 1 kg ha⁻¹ o acúmulo de Ni aumentou na parte aérea e 8,8 µg planta⁻¹ para 12,7 µg planta⁻¹ na dose 2,0 kg ha⁻¹ de Ni.

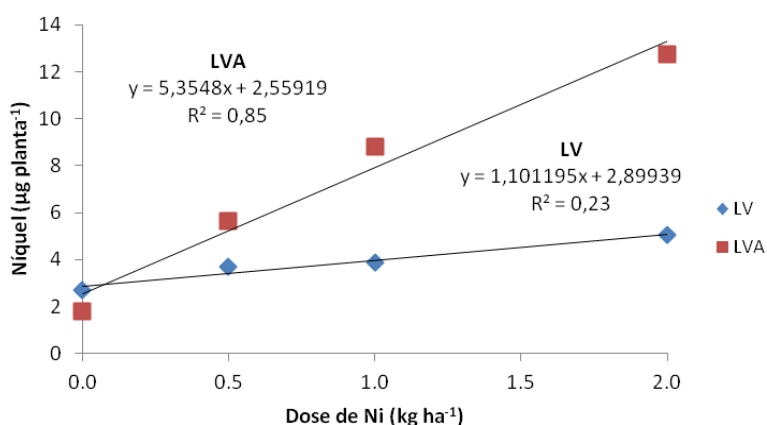


Figura 12: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP.

No LV e LVA, o acúmulo de Ni na parte aérea das plantas apresentou efeito linear em relação ao aumento das doses de Ni aplicadas via solo. O maior incremento em LV e LVA, foi na dose 2,0 kg ha⁻¹ que resultou em aumento de 30% no acúmulo de Ni na parte aérea das plantas em relação a dose 1,0 kg ha⁻¹ no LV, e 44% no LVA (Figura 12).

Para PAIVA et al. (2003) a elevação dos teores de Ni nas folhas com a aplicação de doses crescentes de Ni na solução nutritiva mostrou que este elemento é muito móvel nas plantas, o que corrobora com os dados de MISHRA e KAR (1974), enquanto que o aumento no teor mostra que o Ni foi absorvido proporcionalmente à concentração do mesmo no meio de crescimento. PEREIRA (2006) observou aumento dos teores determinados de Ni na matéria seca das raízes, caules, folhas e grãos de feijão com a aplicação de doses de 8, 16, 32, 64 e 128 g ha⁻¹ Ni aplicadas em diversos Latossolos vermelho-amarelo.

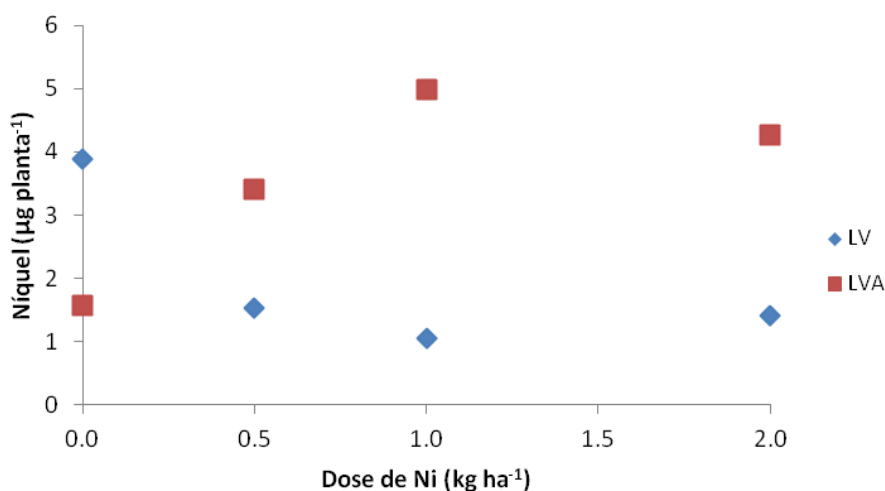


Figura 13: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) na parte aérea final aos 110 DAP.

Apesar da interação solo x dose ter efeito sobre o acúmulo de Ni na parte aérea das plantas que receberam Ni via solo, não houve efeito significativo do aumento das doses de Ni para o acúmulo de Ni na parte aérea final no LV e no LVA aos 110 DAP (Figura 13).

4.3.2.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Com o aumento das doses de Ni aplicadas, houve aumento do acúmulo de Ni nas plantas aos 40 DAP. No LV o maior acúmulo de Ni observado foi de 208,8 $\mu\text{g planta}^{-1}$ com a aplicação foliar de 1 kg ha^{-1} de Ni, maior dose aplicada. A dose zero de Ni resultou em acúmulo de 3,2 $\mu\text{g planta}^{-1}$, seguida por 51,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ e 177,9 $\mu\text{g planta}^{-1}$ nas doses 0,25 e 0,5 kg ha^{-1} de Ni respectivamente, aumentando o acúmulo em 16 e 55 vezes, respectivamente. No LVA, a dose zero de Ni resultou em acúmulo Ni de 1,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$, enquanto que a aplicação das doses de 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha^{-1} resultaram em acúmulo de 50,2, 56,6 e 139,9 $\mu\text{g planta}^{-1}$, respectivamente (Tabela 5 do Anexo I). A aplicação da dose 1 kg ha^{-1} de Ni via foliar ocasionou desfolha nas plantas em ambos os solos, porém o efeito dessa desfolha foi maior nas plantas cultivadas no LVA do que no LV, pois estas apresentavam menor porte e menor número de trifólios devido a menor fertilidade desse solo.

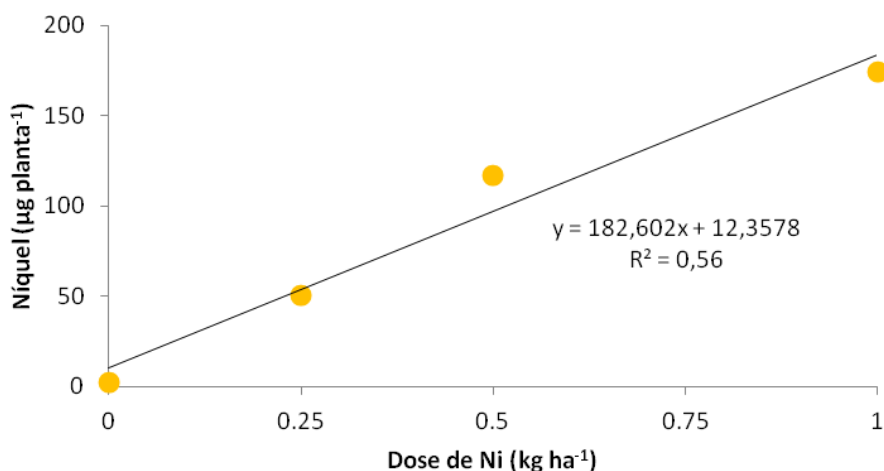


Figura 14: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 40 DAP.

Em relação a aplicação foliar de Ni observou-se apenas efeito de dose aplicada aos 40 DAP, independentemente da textura do solo. O acúmulo de Ni na parte aérea aumentou linearmente conforme as doses aplicadas. A maior dose aplicada de 1 kg ha^{-1} de Ni resultou no maior acúmulo de Ni nas plantas, de 174,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (Figura 14), sendo o maior incremento dado pela dose 0,5 kg ha^{-1} em relação a dose 0,25 kg ha^{-1} , com incremento de 22 vezes no acúmulo de Ni.

Aos 70 DAP, na aplicação das doses de Ni via foliar, no LVA, a maior dose resultou em acúmulo de 240,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ e em LV, o resultado foi de 217,5 $\mu\text{g planta}^{-1}$. Já na dose 0,25 kg ha^{-1} de Ni, no LV o acúmulo de Ni foi de 105,0 $\mu\text{g planta}^{-1}$ no LV e 83,2 $\mu\text{g planta}^{-1}$ no LVA. A dose 0,5 kg ha^{-1} resultou em acúmulo de 156,5 $\mu\text{g planta}^{-1}$ no LV e 208,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ em LVA (Figura 15).

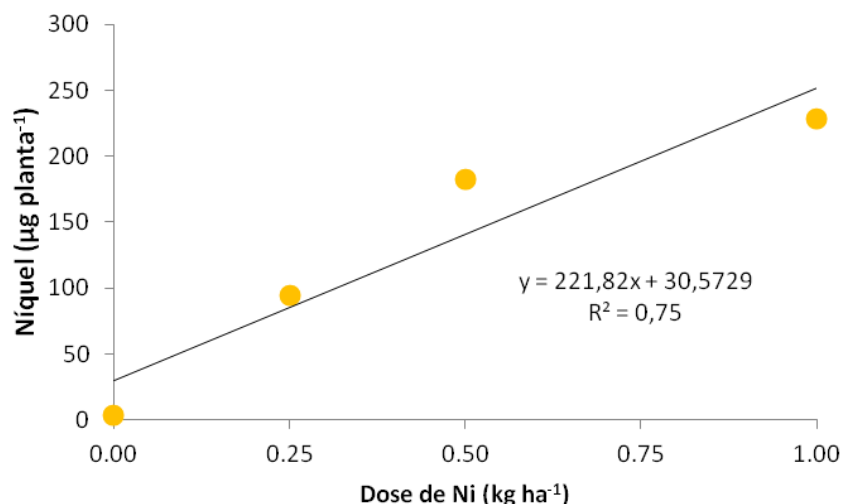


Figura 15: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 70 DAP.

Houve aumento linear e significativo do acúmulo de Ni na parte aérea das plantas de soja com as doses de Ni (Figura 15), sendo o maior incremento dado pelo aumento da dose zero a 0,25 kg ha⁻¹, com aumento de 93% no acúmulo de Ni

Aos 110 DAP, para a aplicação de Ni via foliar, o fator dose apresentou efeito para o acúmulo de todos os micronutrientes nas plantas. O acúmulo de B apresentou resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = 69,945x^2 + 75,744x + 67,681$; $R^2 = 0,97$), com maior aumento do acúmulo de B, de 75%, dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹. O acúmulo de Cu apresentou resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = -5,7029x^2 + 11,358x + 5,0419$; $R^2 = 0,83$), com maior aumento do acúmulo de Cu, de 70%, dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹. Para o acúmulo Fe, foi observado resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = -7,7651x^2 + 435,83x + 58,138$; $R^2 = 0,89$), com maior aumento de 3 vezes no acúmulo de Fe, dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹. O acúmulo de Mn apresentou resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = 125,98x^2 + 73,5x + 39,579$; $R^2 = 0,95$), com maior aumento do acúmulo de Mn, de 3 vezes, dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹. Para o acúmulo Zn, foi observado resposta quadrática ao aumento das doses de Ni aplicadas via foliar para o LVA ($y = 8,6441x^2 + 107,51x + 60,358$; $R^2 = 0,9175$), com maior aumento no acúmulo de Zn, de 93%, dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹.

Os resultados de acúmulo de micronutrientes aos 110 DAP na parte aérea das plantas que receberam Ni via solo foram 108,8 µg planta⁻¹ de B, 8,9 µg planta⁻¹ de Cu, 254,4 µg planta⁻¹ de Fe,

93,5 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Mn e 110,2 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Zn. Para as plantas que receberam Ni via foliar, o acúmulo de micronutrientes na parte aérea aos 110 DAP foram 128,0 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de B, 9,6 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Cu, 323,8 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Fe, 111,3 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Mn e 90,4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ de Zn (Tabela 7 do Anexo I)

No presente estudo o Ni se mostrou muito móvel independente da forma de aplicação. No caso das aplicações via foliar, a translocação também foi alta, porém, boa parte do Ni aplicado permaneceu retida na cutícula das folhas.

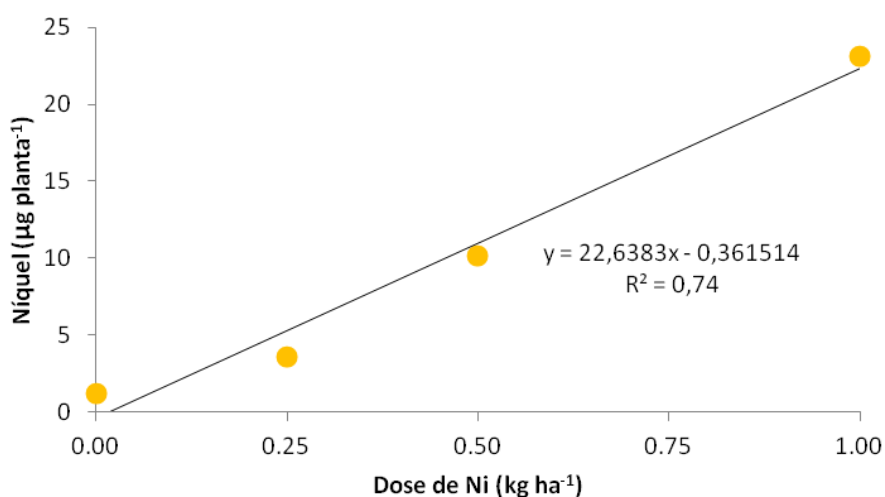


Figura 16: Acúmulo de níquel (Ni) nas plantas de soja tratadas com doses de Ni via foliar aos 110 DAP.

Aos 110 DAP, as médias totais das doses foram usadas para o modelo de regressão entre o acúmulo de Ni nas plantas e aumento das doses aplicadas via foliar. A maior dose aplicada de 1 kg ha^{-1} de Ni resultou no maior acúmulo de Ni nas plantas, de 23,1 $\mu\text{g planta}^{-1}$, que aumentou em 126% o acúmulo de Ni nas plantas, em relação a dose 0,5 kg ha^{-1} (Figura 16).

4.4. Atividade da Urease

Quanto à atividade da urease nas folhas, houve efeito significativo quanto a dose na atividade da urease aos 40 e aos 70 DAP, e interação significativa entre dose e solo na atividade da urease de plantas coletadas aos 40 e aos 70 dias após o plantio, na soja adubada com Ni tanto via solo quanto via foliar (Tabela 8 do Anexo I). O fator solo não influenciou significativamente a atividade da urease em nenhuma das duas épocas de avaliação. Isso demonstra que apesar da textura do solo influenciar a adsorção desse micronutriente, a aplicação das doses de Ni utilizadas nesse estudo foram suficientes para aumentar a atividade da urease nas folhas de soja (Tabela 8 do Anexo I).

Não houve diferenças significativas quanto às formas de aplicação, via solo ou via foliar, na atividade da urease aos 40 e aos 70 DAP (Tabela 8 do Anexo I).

Aos 70 DAP, os valores da atividade da urease com a aplicação das doses de Ni foram maiores do que aos 40 DAP. No ciclo do N após a absorção pelas plantas, a formação dos ureídeos é uma etapa importante para o transporte de N fixado dos nódulos para a parte aérea e do floema, para as sementes. Neste trabalho as plantas de soja cultivadas em vasos praticamente não nodularam durante a fase vegetativa. Não se sabe ao certo os motivos que levaram a tal fato, mas devido a isso pode-se conjecturar que a formação de ureídeos foi iniciada no começo do ciclo reprodutivo da soja, ou seja, aos 70 DAP. Nessa fase a produção de ureia endógena provavelmente foi maior, para dar início a translocação do N do floema para os grãos. Por esse motivo, a atividade da urease nas plantas de soja foi maior aos 70 DAP do que aos 40 DAP (Tabela 8 do Anexo I). Dessa forma, levantou-se a hipótese de que se a plantas de soja tivessem recebido ureia como fonte de N ao invés de nitrato de amônio, ou se a soja tivesse nodulado, provavelmente a atividade da urease teria sido mais alta aos 40 DAP, no ciclo vegetativo das plantas de soja, por conta da formação de ureídeos já nessa fase do ciclo.

4.4.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Aos 40 DAP a aplicação de doses de Ni aumentaram significativamente a atividade da urease apenas na soja cultivada no LVA. O aumento na atividade da urease foi quadrático, sendo a máxima atividade da urease obtida com a aplicação da dose $1,4 \text{ kg ha}^{-1}$ aplicada via solo. A partir dessa dose o Ni foi prejudicial a atividade da urease na soja (Figura 17)

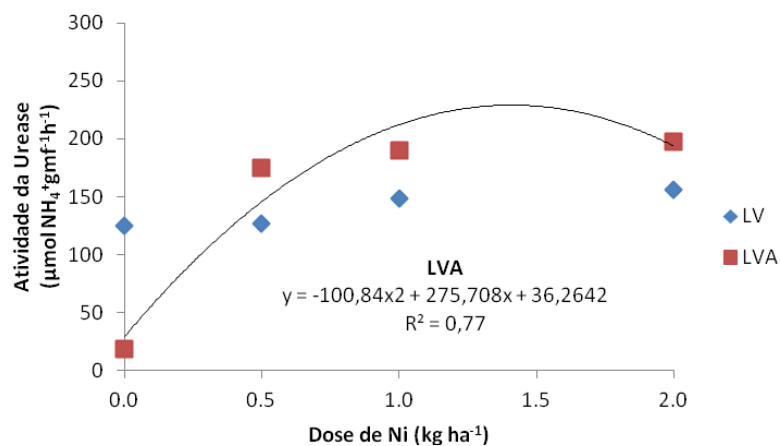


Figura 17: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférrico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP.

Com a aplicação de Ni via solo, aos 40 DAP, no LVA, o aumento na atividade da urease foi maior do que no LV. Isso porque o teor disponível de Ni no solo era maior em LV, o que resultou em atividades mais altas da urease mesmo com a dose zero de Ni aplicado via solo. A atividade da urease aos 40 DAP apresentou resposta quadrática para a aplicação de doses crescentes de Ni via solo, no LVA. Não houve adequação do modelo para a atividade da urease com o aumento das doses de Ni aplicadas via solo no LV. As doses 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹ resultaram em aumento na ordem de 9, 10,5 e 10,9 vezes na atividade da urease em relação a dose zero de Ni aplicado via solo no LVA. O maior incremento na atividade da urease foi dado pela dose 0,5 kg ha⁻¹, em relação a dose zero, com aumento de 9 vezes (Figura 17).

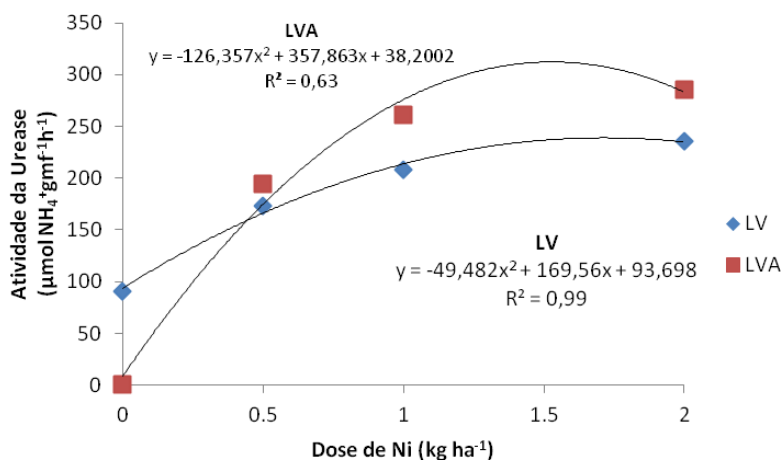


Figura 18: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférrico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP.

A atividade da urease aos 70 DAP apresentou resposta quadrática para aplicação de Ni via solo no LVA e LV. De acordo com a curva de resposta, a dose de Ni via solo que trouxe a maior atividade da urease aos 70 DAP no LVA e no LV foi de 1,5 kg ha⁻¹. No LVA, a dose de 2 kg ha⁻¹ de Ni aplicada via solo apresentou o melhor resultado na atividade da urease nas épocas de análise da atividade da enzima, que foi de 285,75 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹. Nas plantas cultivadas em LV, aos 70 DAP, as doses crescentes de Ni aplicadas via solo, de 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹, resultaram em aumento da atividade da urease em 90, 129 e 159% em relação ao controle. O maior incremento foi em relação a dose zero para a dose de 0,5 kg ha⁻¹ aplicado via solo, que aumentou em 90% a atividade da urease nas folhas, que passou de 81,06 para 173,14 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹. Nas plantas cultivadas em LVA, aos 70 DAP, os aumentos foram ainda mais expressivos, na ordem de 312 a 459 vezes de aumento em relação a dose zero de Ni aplicado via solo, sendo o maior incremento na atividade da urease, de 194 vezes da dose 0,5 kg ha⁻¹ em comparação com a dose zero de N, passando de 0,62 para 194,55 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹ (Figura 18).

Em OLIVEIRA (2009), a atividade da urease em folhas de alface aumentou significativamente em resposta aos tratamentos com doses de Ni aplicadas via solo. O aumento foi significativo e acentuado até a dose de 2 mg dm⁻³ de Ni (4 kg ha⁻¹), e a partir de então houve incrementos decrescentes até ficar nula a partir da dose 8 mg dm⁻³ (16 kg ha⁻¹). As doses de Ni adicionadas ao solo que resultaram nas máximas atividades de urease em folhas de alface foram 18,40 mg dm⁻³ (36,8 kg ha⁻¹) em tratamentos que receberam nitrato de amônio e 20,40 mg dm⁻³ (40,8 kg ha⁻¹) em plantas que receberam ureia como fonte de N. Essas máximas atividades enzimáticas foram obtidas com teores de 8,25 mg kg⁻¹ de Ni nas plantas adubadas com nitrato de amônio e 7,92 mg kg⁻¹ nas plantas que receberam ureia (OLIVEIRA, 2009).

No presente trabalho, a máxima atividade da urease correspondeu ao acúmulo de Ni de 12,7 μg planta⁻¹, que foi aplicado via solo em LVA, na dose de 2 kg ha⁻¹ aos 70 DAP (Tabela 6 do Anexo I). O Ni presente desde o início do ciclo na planta e disponível no solo, pode ser melhor aproveitado para a atividade da enzima urease, já que necessitou de menor acúmulo na planta para obtenção da maior atividade da enzima.

Esses resultados estão de acordo com as observações de GERENDÁS E SATTELMACHER (1997), que dizem que o Ni sendo essencial para a estrutura e o funcionamento da urease, deve estar presente no período de síntese da enzima. De acordo com DIXON et al. (1980), a deficiência de Ni resulta na perda irreversível das propriedades catalíticas da urease. Os dados também corroboram as

conclusões de KROGMEIER et al. (1991), que, cultivando soja em solução nutritiva com reagentes purificados, constataram que a adição de Ni aumentava a atividade da urease nas folhas.

Em REIS (2002) a dose de Ni adicionada ao solo que resultou na máxima atividade da urease foi de 18,40 mg dm⁻³ (36,8 kg ha⁻¹) em alface, sendo que com 8,25 mg kg⁻¹ de Ni foi verificada a maior atividade da urease. Em KLUCAS et al. (1983), a adição de NiCl₂ a solução nutritiva purificada aumentou no mínimo 10 vezes a atividade da urease em folhas de soja.

4.4.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Aos 40 DAP, a dose que resultou na maior atividade da urease no LV (184,11 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹) foi a aplicação via foliar de 1 kg ha⁻¹ de Ni nas plantas cultivadas em LV. No LVA, a mesma dose atingiu a maior atividade da urease aos 40 DAP, que foi de 244,11 μmol NH₄⁺gmf⁻¹h⁻¹. A aplicação foliar de Ni promoveu maior atividade da urease (Tabela 8 do Anexo I)

Nas aplicações via foliar, os aumentos na atividade da urease em relação a dose zero de Ni, foram da ordem de 22, 51 e 58% aos 40 DAP e 154, 152 e 160% aos 70 DAP, resultado da aplicação de 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ de Ni via foliar, no LV. No LVA, as maiores diferenças se deram aos 40 DAP, com aumentos de 198 e 192 vezes para as doses 0,25 e 0,5 kg ha⁻¹ de Ni aplicado via foliar, e 244 vezes para a dose de 1,0 kg ha⁻¹, em relação a dose zero de Ni. Aos 70 DAP, os resultados foram maiores em relação a dose zero de Ni, em 52, 62 e 63 vezes nas doses 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹, respectivamente.

Em LV, a máxima atividade da urease foi dada no acúmulo de 208,1 μg planta⁻¹ de Ni aos 70 DAP, aplicado via foliar, na dose de 0,5 kg ha⁻¹ (Tabela 6 do Anexo I).

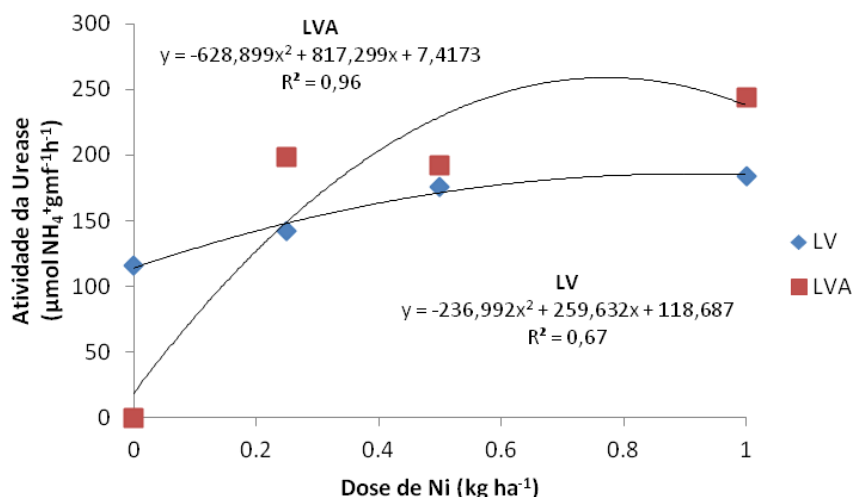


Figura 19: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 40 DAP.

A atividade da urease aos 40 DAP apresentou resposta quadrática para o aumento das doses de Ni via foliar, tanto no LV quanto no LVA. A dose de Ni que resultou na maior atividade da urease aos 40 DAP de acordo com as curvas de resposta, foi de 0,8 kg ha⁻¹ para o LVA, e de 1,0 kg ha⁻¹ no LV. O maior incremento na atividade da urease foi com a aplicação da dose 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,25 kg ha⁻¹, que teve um aumento de 24%, passando de 116,11 para 142,18 μmol NH₄⁺ gmf⁻¹ h⁻¹ no LV. Para o LVA, o aumento de 198 vezes, da dose 0,25 kg ha⁻¹ para a dose zero de Ni tiveram o maior incremento da atividade da urease nas folhas de soja (Figura 19).

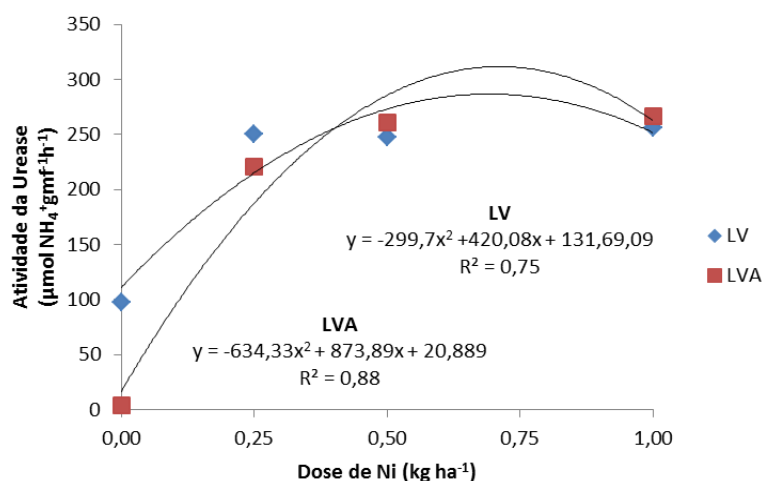


Figura 20: Atividade da urease nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) e Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) aos 70 DAP.

A atividade da urease aos 70 DAP apresentou resposta significativa e quadrática para a aplicação de Ni via foliar nos dois solos estudados. A aplicação de Ni resultou em maior atividade da urease aos 70 DAP ($279,08 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ gmf}^{-1}\text{h}^{-1}$) com a dose de $0,70 \text{ kg ha}^{-1}$ para o LV. De maneira semelhante, para o LVA a dose de Ni igual a $0,32 \text{ kg ha}^{-1}$ correspondeu à atividade da urease igual a $277,17 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ gmf}^{-1}\text{h}^{-1}$. A dose de 1 kg ha^{-1} de Ni aplicada via foliar resultou na maior atividade da urease no LV, que foi de $256,13 \mu\text{mol NH}_4^+ \text{ gmf}^{-1}\text{h}^{-1}$ aos 70 DAP (Figura 20).

4.5. Altura das Plantas de Soja

Em relação a altura das plantas de soja cultivadas nos dois solos, para a aplicação de Ni via foliar, o fator solo apresentou efeito significativo na altura das plantas aos 30, 41, 59, 66 e 87 DAP (Tabela 9 do Anexo I). A interação dose e solo apresentou efeito significativo na altura das plantas aos 20 DAP e está apresentado no item 4.5.2. Na aplicação de Ni via solo, houve diferenças nas médias de alturas de plantas aos 20, 30 e 41 DAP para o fator solo. O fator dose apresentou efeito significativo na média da altura das plantas aos 20 DAP, e está apresentado no item 4.5.1. (Tabela 9 do Anexo I).

As plantas cultivadas no solo LV foram maiores do que as plantas cultivadas no solo LVA na média de todas as doses, tanto para a aplicação de Ni via solo quanto via foliar. Aos 59, 66 e 87 DAP, as médias das alturas das plantas foram iguais entre os solos LV e o LVA. A forma de aplicação de Ni nas plantas foi significativa somente aos 20 DAP. Levando-se em consideração que o Ni via foliar foi aplicado na mesma data em que foi medida a primeira altura, portanto era esperado que não houvesse efeito de dose e forma de aplicação aos 20 DAP (Tabela 9 do Anexo I).

4.5.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Na aplicação de Ni via solo, os fatores solo e dose foram significativos para os resultados aos 20 (Figura 21), 30 (Figura 22) e 41 (Figura 23) DAP. Aos 20 DAP foi possível observar diferenças de até 4,8 cm na dose de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ni aplicado via solo em relação a dose zero de Ni no LV. Na aplicação via solo, as médias das alturas das plantas foram maiores quando cultivadas no solo LV do que as médias das alturas das plantas cultivadas no solo LVA aos 20, 30 e 41 DAP.

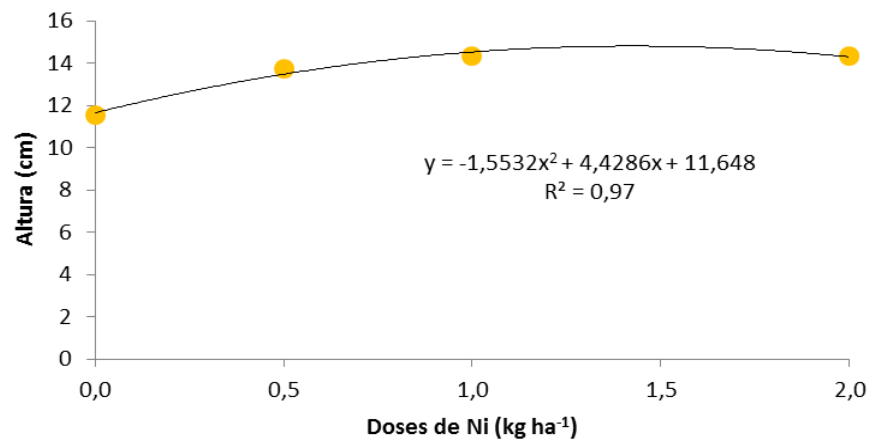


Figura 21: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 20 DAP.

A altura das plantas aos 20 DAP apresentou resposta quadrática a aplicação de Ni via solo. A dose de Ni aplicada via solo que resultou na maior altura das plantas, estimada pela curva da regressão, foi de 1,4 kg ha⁻¹ de 14,8 cm. O maior crescimento foi observado na dose de 0,5 kg ha⁻¹ comparado a dose zero de Ni, com aumento de 2 cm na altura das plantas (Figura 21).

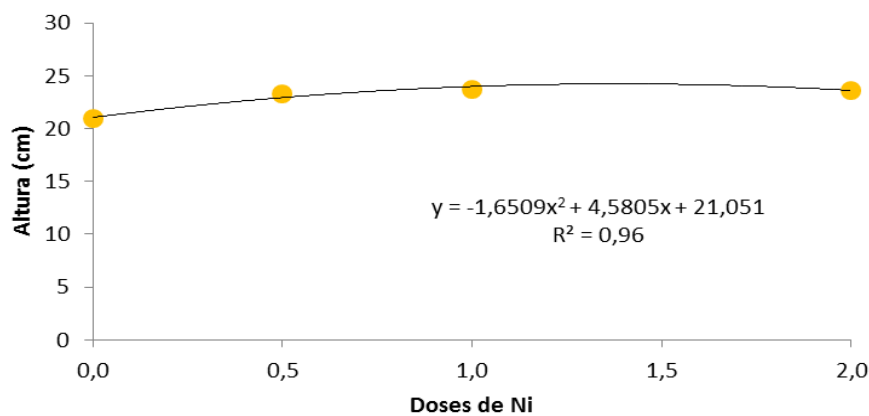


Figura 22: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 30 DAP.

A média da altura das plantas aos 30 DAP apresentou resposta quadrática com as doses crescentes de Ni aplicadas via sol. A maior média de altura das plantas foi observada na dose de 1,0 kg ha⁻¹ de Ni, com aumento de até 14% em comparação com a dose zero de Ni. O maior crescimento foi observado na dose de 0,5 kg ha⁻¹ comparado a dose zero de Ni, com aumento de 2 cm na altura das plantas (Figura 22).

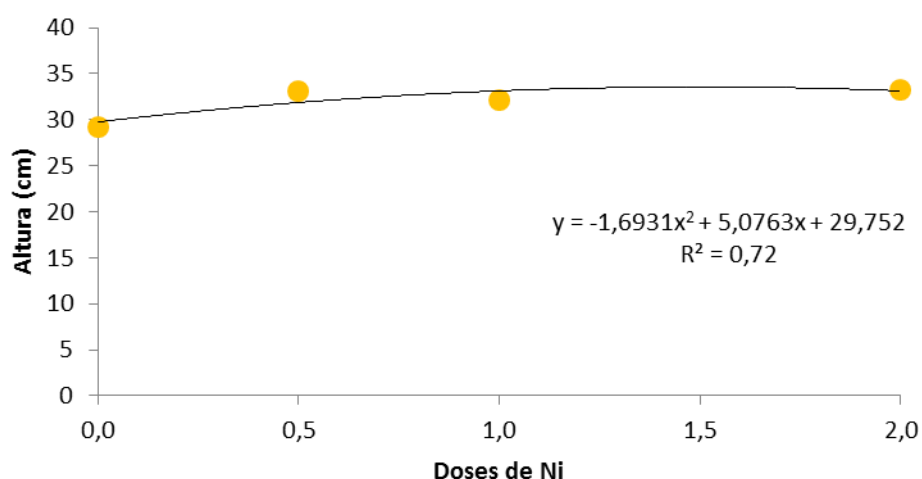


Figura 23: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 41 DAP.

A média de altura das plantas aos 41 DAP apresentou resposta quadrática a aplicação de doses crescentes de Ni via solo, sendo o maior resultado na dose 0,5 kg ha⁻¹, de 33 cm, com aumento de 4 cm em relação a dose zero de Ni (Figura 23).

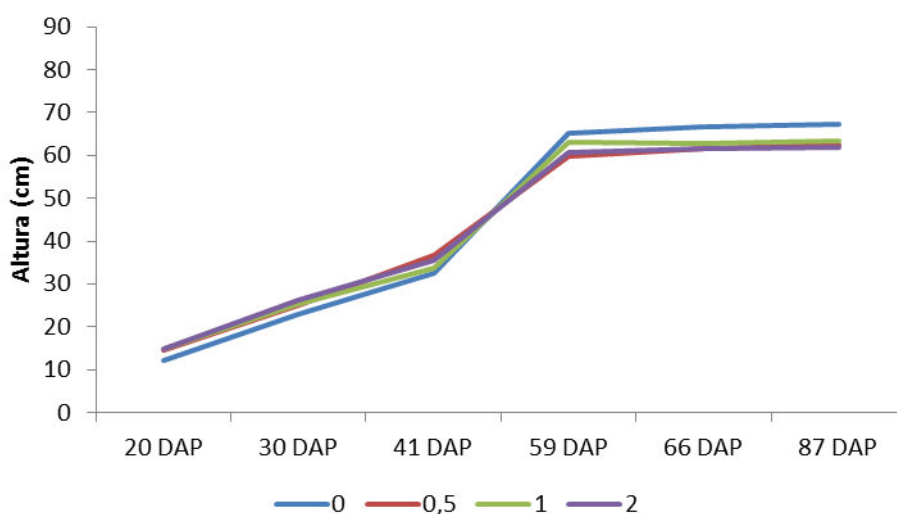


Figura 24: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV).

No LV, aos 20 DAP as doses crescentes de Ni de 0, 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹ resultaram em alturas de plantas de 12, 14,4, 15 e 14,8 cm. Aos 30 DAP as alturas foram de 22,9, 24,9, 25,4 e 26,1 cm com as

doses crescentes de Ni. Aos 41 DAP a maior altura, 36,6 cm, foi resultado da aplicação da dose 0,5 kg ha⁻¹ de Ni. As médias de altura no LV deixaram de adotar um modelo de regressão significativo a partir do 59 DAP. Ao final do ciclo vegetativo, a dose zero de Ni via solo apresentou a maior média de altura das plantas, de 67,3 cm, até 6 cm maiores do que a maior dose de Ni, que foi de 2 kg ha⁻¹ (Figura 24). Essa redução na altura das plantas foi também observada por PAIVA et al. (2001) com a aplicação de 2,5 mg L⁻¹ de Ni em mudas de aroeira, onde houve redução de 40% na altura das plantas em relação ao tratamento controle. Na aplicação de 5 mg L⁻¹ a redução foi da ordem de 49% permanecendo neste nível nos demais tratamentos (Figura 24).

De acordo com os dados até os 41 DAP, as doses de Ni aplicadas via solo surtiram efeito sobre a altura das plantas, sendo todas as plantas maiores do que as plantas que receberam dose zero de Ni aplicada. Porém, com a aplicação de nitrato de amônio devido a falta de nodulação das plantas de soja, realizada aos 40 DAP, esse efeito da aplicação de Ni via solo sobre a altura médias das plantas de soja pode ter sido mascarado (Figura 24).

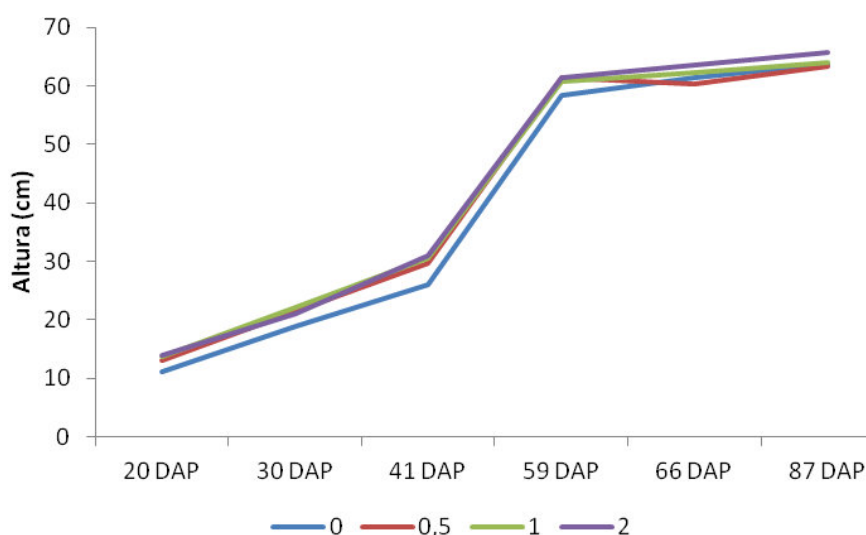


Figura 25: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

Em relação a altura das plantas tratadas com Ni via solo em LVA, até os 59 DAP, a altura das plantas tratadas com 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹ estavam em média 5 cm mais altas do que as plantas tratadas com dose zero de Ni. No final do ciclo, a maior altura no LVA em doses de Ni aplicadas via solo foi 65,8 cm, na dose 2,0 kg ha⁻¹. Essa crescimento provavelmente foi favorecido pelo aumento da atividade da urease, já observado nos resultados, e conseqüentemente, melhor uso do N pelas plantas

que receberam as doses de Ni (Figura 25).

O efeito do Ni aplicado via solo sobre as médias de alturas das plantas cultivadas no solo LVA foram ainda mais evidentes, principalmente pelo fato do solo LVA ter baixo teor de Ni disponível em relação ao teor disponível de Ni no LV. Além disso, a baixa adsorção de Ni no solo LVA manapresentou o nutriente prontamente disponível para a absorção pelas plantas. Apesar da aplicação de nitrato de amônio devido a falta de nodulação das plantas de soja, realizada aos 40 DAP, o efeito da aplicação de Ni no solo sobre a altura das plantas ainda pode ser observado até no final do ciclo das plantas (Figura 25).

Outros autores verificaram o efeito da adição de Ni no crescimento de diferentes culturas tais como aveia, trigo, tomate (BROWN et al., 1987; CHECKAI, et al., 1986; SHIMADA et al., 1980; WELCH, 1981). Assim como os dados verificados no aumento da altura das plantas quando o Ni foi aplicado via solo, NEVES et al. (2003) concluiu que o Ni, em concentrações abaixo de 3 mg L^{-1} estimula o crescimento de mudas de umbuzeiro em solução nutritiva.

4.5.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Na aplicação via foliar, as médias das alturas das plantas foram iguais aos 20 DAP para plantas cultivadas nos dois solos estudados. Aos 30, 41, 59, 66 e 87 DAP, as plantas cultivadas no LV foram maiores do que plantas cultivadas no LVA (Tabela 9 do Anexo I).

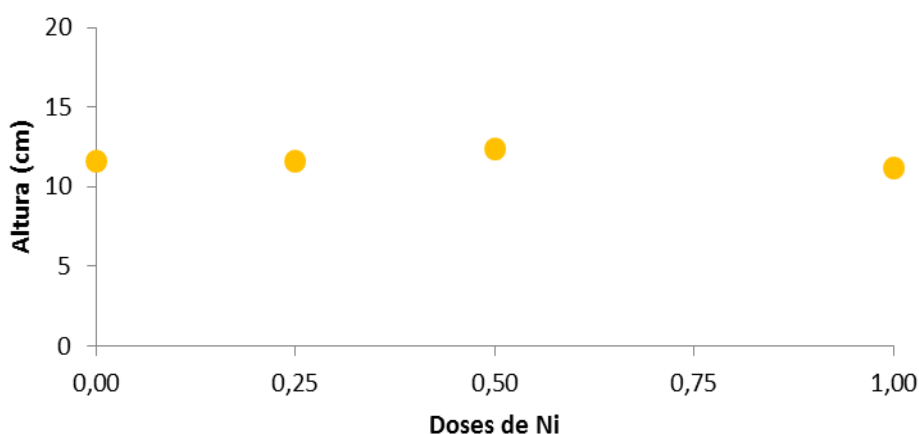


Figura 26: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 41 DAP.

Não houve regressão significativa para a média de altura das plantas aos 20 DAP que receberam Ni aplicado via foliar (Figura 26).

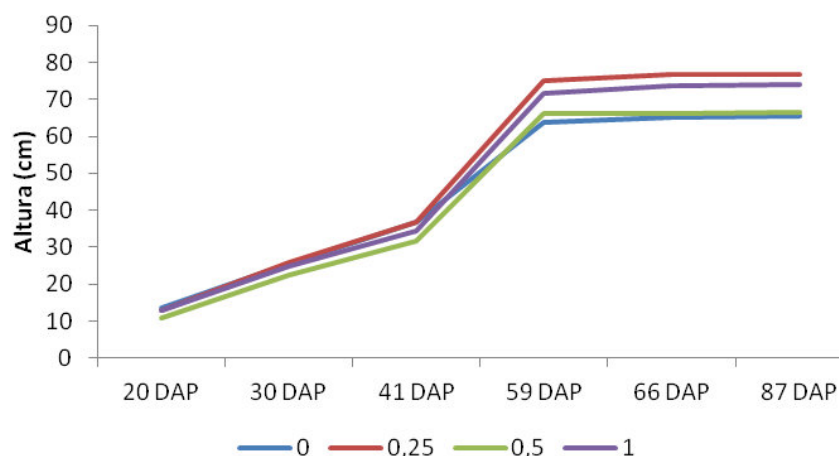


Figura 27: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV).

Na aplicação foliar de doses crescentes de Ni no LV, as doses de 0,25 kg ha⁻¹ e 1,0 kg ha⁻¹ tiveram as maiores médias de altura durante todo o ciclo vegetativo em comparação aos outros tratamentos. A partir dos 59 DAP, as alturas das plantas de soja com as doses de 0, 0,25, 0,25 e 1,0 kg ha⁻¹ de Ni aplicadas via foliar foram de 63,8, 75,0, 66,0 e 71,5 cm respectivamente. Essa diferença de até 10 cm entre os resultados na dose zero, e dose 0,25 kg ha⁻¹, permaneceram até o final do ciclo vegetativo, conferindo aumento médio de 17% na altura das plantas (Figura 27).

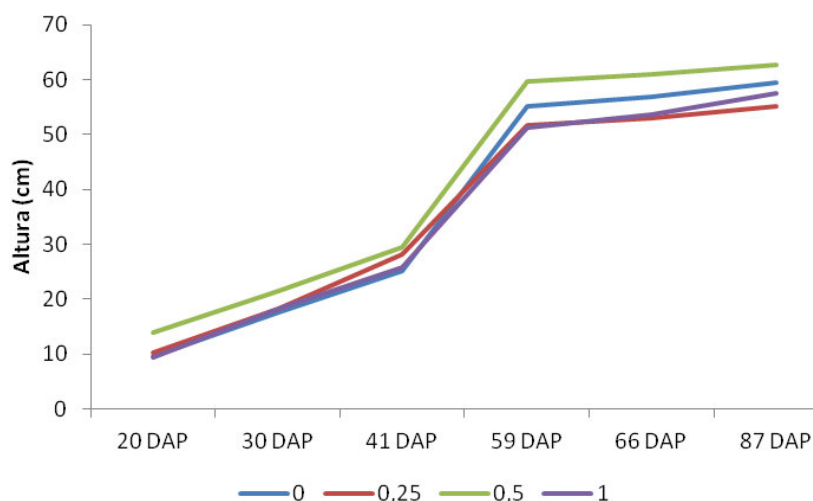


Figura 28: Alturas das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

Em LVA, na aplicação de doses crescentes de Ni via foliar, a maior média das alturas ficou na dose de 0,5 kg ha⁻¹ de Ni (Figura 28). A diferença entre as plantas foi de 17,7 cm na dose zero de Ni, para 21,5 cm na dose 0,5 kg ha⁻¹. No final do ciclo, a diferença chegou a 5% na altura das plantas.

4.6. Área Foliar aos 40 e 70 dias após o plantio

Aos 40 DAP, para a aplicação de Ni via solo, a interação dose x solo foi significativa para a análise da área foliar. O fator solo foi significativo para os resultados da área foliar das plantas que receberam aplicação de Ni via foliar. Os valores médios para a área foliar das plantas coletadas foram maiores no LV do que no LVA. Não houve diferenças quanto as duas formas de aplicação na área foliar avaliada na primeira amostragem de plantas aos 40 DAP (Tabela 10 do Anexo I)

Aos 70 DAP, o fator solo apresentou efeito para as médias de área foliar das plantas coletadas para as duas formas de aplicação de Ni, via solo e via foliar. As médias dos valores de área foliar foram maiores em LV do que em LVA, resultado já esperado devido a maior altura das plantas em LV (Tabela 9 do Anexo I). Não houve diferenças quanto as formas de aplicação na área foliar avaliada na segunda colheita, aos 70 DAP (Tabela 11 do Anexo I).

Conforme os dados de 40 e 70 DAP, pode-se notar que as plantas continuaram o seu desenvolvimento e crescimento com a aplicação das doses crescentes de Ni tanto via foliar quanto via solo.

4.6.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Aos 40 DAP, houve efeito da interação dose x solo nos resultados de área foliar das plantas que receberam aplicação de Ni via solo, com efeito quadrático para as plantas cultivadas em LV e em LVA (Figura 29).

Foi observado maior área foliar das plantas coletadas no LV do que em plantas coletadas do LVA. No LV a maior diferença da média de área foliar das plantas de soja foi dada pela dose de 1,0 kg ha⁻¹, que aumentou 25% a área foliar em relação a dose zero de Ni, de 734,88 para 921,29 mm². Para o LVA, o aumento de área foliar foi maior em porcentagem, sendo até 56% na dose de 0,5 kg ha⁻¹ em relação a dose zero de Ni, de 365,32 para 572,86 mm² (Figura 29).

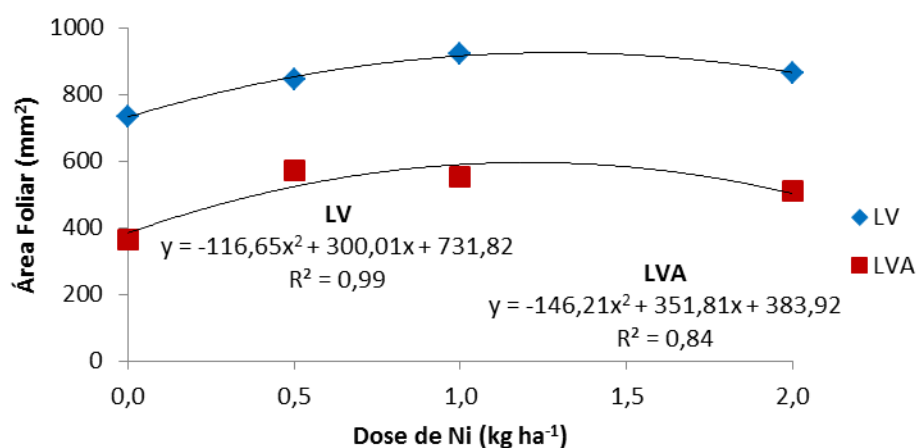


Figura 29: Área foliar das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV) Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) aos 40 DAP.

4.6.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Aos 40 DAP não foi possível verificar efeito na área foliar das plantas de soja cultivadas no LV e no LVA quanto à aplicação de doses crescentes de Ni via foliar. Vale ressaltar que houve desfolha mais severa nas doses de 1,0 kg ha⁻¹ aplicado via foliar no LVA, o que pode ter contribuído para menor área foliar nesse tratamento, do que no tratamento via foliar com menores doses de Ni.

No caso da aplicação de doses via foliar, apesar da desfolha causada pela aplicação do cloreto de Ni nas folhas, a dose de 1 kg ha⁻¹ apresentou o maior aumento em área foliar, de 578 mm². Isso significa que após a desfolha, as plantas tratadas com a dose 1 kg ha⁻¹ de Ni compensaram o seu crescimento e tamanho de folhas para continuar o seu desenvolvimento.

4.7. Número de Trifólios aos 70 Dias Após o Plantio e Número de Vagens aos 70 e aos 110 Dias Após o Plantio

Aos 70 DAP, o fator dose apresentou efeito para as médias de número de vagens na aplicação de Ni via solo. Para o número de trifólios não houve efeito dos fatores estudados tanto para a aplicação via foliar quanto via solo. O número de trifólios médio para todas as doses, em todas as formas de aplicação de Ni foi de 9 trifólios por planta aos 70 DAP. Não houve diferenças quanto as duas formas de aplicação a esses atributos avaliados aos 70 DAP (Tabela 11 do Anexo I).

Aos 110 DAP, o fator dose apresentou efeito para os resultados de números de vagens por planta

na aplicação de Ni via solo. As médias dos números de vagens por planta não diferiram entre os dois solos, LV e LVA. Não houve diferenças quanto as duas formas de aplicação de Ni, via solo e via foliar no número de vagens aos 110 DAP (Tabela 12 do Anexo I).

4.7.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Apesar do efeito do fator dose para o número de vagens, não houve modelo de regressão ajustado para aplicação de Ni via solo aos 70 DAP (Figura 30). Em LVA, na aplicação de Ni via solo, houve efeito das doses crescentes de Ni no pegamento das vagens, passando de 9 vagens na dose zero de Ni até 13 vagens na dose de 2 kg ha⁻¹ de Ni (Tabela 11 do Anexo I). Como as plantas desse tratamento não cresceram mais do que as plantas dos demais tratamentos com aplicação de Ni via solo (Tabela 9 do Anexo I), esse efeito pode ser atribuído a um aumento de pegamento das vagens com o aumento das doses de Ni aplicadas. Assim como os resultados obtidos em soja do aumento do pegamento e consequentemente, do número de vagens por planta, os autores SEREGIN e KOZHEVNIKOVA (2006) relatam que a pulverização do algodoeiro com solução de sulfato de Ni de 234,8 mg kg⁻¹ apresentou efeito positivo em relação ao número de gemas e de flores, a velocidade do crescimento das maçãs e o teor de óleo nas sementes, demonstrando que o Ni pode ser um micronutriente importante para o aumento do pegamento de flores em plantas.

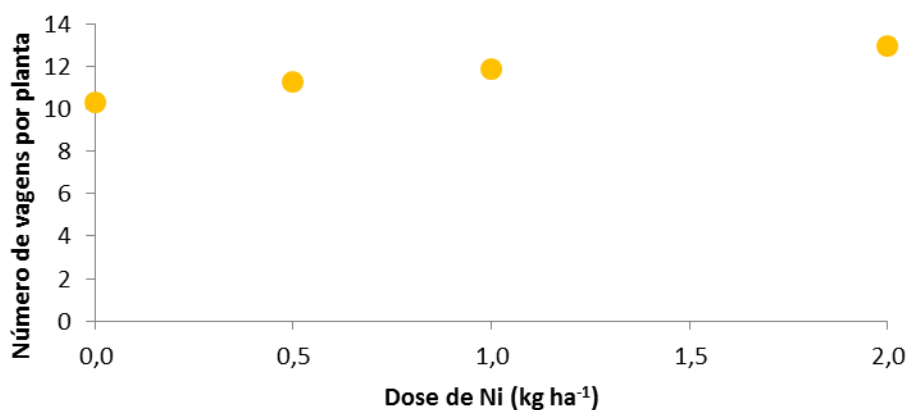


Figura 30: Número de vagens em plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 70 DAP.

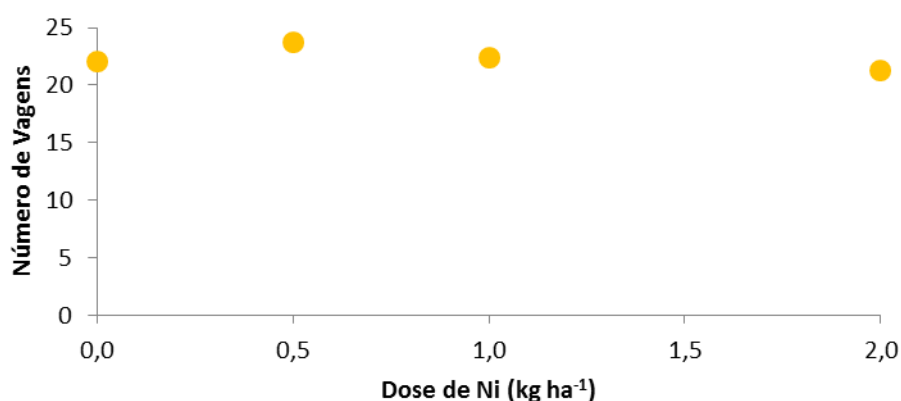


Figura 31: Número de vagens em plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 110 DAP.

Aos 110 DAP, apesar do fator dose ter sido significativo para o número de vagens na aplicação de Ni via solo, a regressão não foi significativa para as médias dos tratamentos no LV e LVA (Figura 31). O maior número de vagens dos tratamentos foi na dose 0,5 kg ha⁻¹ de Ni, de 24 vagens por planta.

4.8. Massa de Matéria Seca da Parte Aérea aos 40, 70 e 110 Dias Após o Plantio e Massa de Matéria Seca dos Grãos de Soja

Aos 40 DAP, para a aplicação de Ni via solo e foliar, o fator solo foi significativo para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas. Os valores médios da massa de matéria seca da parte aérea das plantas foram maiores em LV do que em LVA, provavelmente porque as plantas cultivadas em LV estavam mais desenvolvidas, devido a alta fertilidade do LV em comparação ao LVA. O fator dose e a interação solo x dose apresentou significativo para a massa de matéria seca nas plantas que receberam Ni via foliar, e o fato dose apresentou efeito significativo para a massa de matéria seca nas plantas que receberam Ni via solo. Não houve diferenças quanto as duas formas de aplicação para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas de soja aos 40 DAP (Tabela 10 do Anexo I).

Aos 70 DAP, para a aplicação de Ni via solo e foliar, o fator solo, dose e interação solo x dose foram significativos para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas para a aplicação de Ni via foliar e via solo. Os valores médios da massa de matéria seca da parte aérea das plantas foram maiores em LV do que em LVA. Não houve diferenças quanto as duas formas de aplicação para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas de soja aos 70 DAP (Tabela 11 do Anexo I).

Aos 110 DAP, o fator dose apresentou efeito significativo para os resultados de massa de matéria

seca da parte aérea na aplicação de Ni via solo. O fator solo apresentou efeito significativo para os resultados de massa de matéria seca da parte aérea e dos grãos para as duas formas de aplicação de Ni. Os resultados de massa de matéria seca da parte aérea e dos grãos foram maiores em LV do que em LVA. Não houve diferenças estatísticas quanto as duas formas de aplicação, via solo e via foliar na massa de matéria seca da parte aérea e dos grãos avaliados na colheita final aos 110 DAP (Tabela 12 do Anexo I).

Esses dados podem ser explicados pela remobilização de nutrientes da parte aérea para os grãos, verificado no item 4.2 e 4.3. A menor massa de matéria seca na parte aérea das plantas que receberam Ni via solo indicam mais uma vez que essas plantas estavam com o ciclo de maturação mais adiantado do que as plantas que receberam Ni via foliar.

4.8.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Apesar do fator dose ter sido significativo para a massa de matéria seca da parte aérea, não houve modelo de regressão ajustado aos resultados (Figura 32).

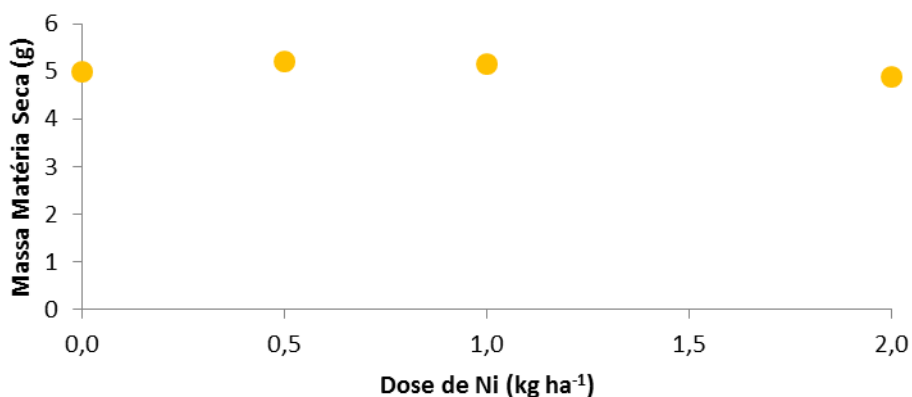


Figura 32: Massa de matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 40 DAP.

Diferentemente dos resultados obtidos neste trabalho, em NEVES et al. (2007) foi observada uma resposta positiva nos resultados de matéria seca das mudas de umbuzeiro às doses menores do que 3 mg L⁻¹ de Ni na solução nutritiva. Para as maiores doses as mudas acumularam menor quantidade de matéria seca, indicando o efeito tóxico do Ni. Esses sintomas foram caracterizados pela clorose generalizada das folhas, seguida de necrose e abscisão, sintomas observados nas doses 0,1, 0,5 e 1,0 mmol L⁻¹ de Ni (NEVES et al., 2007).

De acordo com PAIVA et al. (2001), em trabalho realizado em solução nutritiva, as espécies comportam-se de maneira diferente em relação às quantidades de Ni. As doses de 1 mg L^{-1} em mudas de café (PAVAN e BINGHAM, 1982), de 5 mg L^{-1} em aveia (HUNTER e VERGNANO, 1953), de 6 mg L^{-1} em algodão (REHAB e WALLACE, 1978), de 6 mg L^{-1} em arroz (WALLACE et al., 1977a) e de 10 mg L^{-1} em mudas de espécies florestais (LOZANO e MORRISON, 1981) foram suficientes para reduzir significativamente a produção de matéria seca dessas espécies. No caso do estudo não houve redução de massa de matéria seca aos 40 DAP com o aumento das doses de Ni via solo (até 2 kg ha^{-1}), levando-se em consideração que em experimentos realizados em soluções nutritivas, não há sorção de Ni que normalmente ocorre em solos.

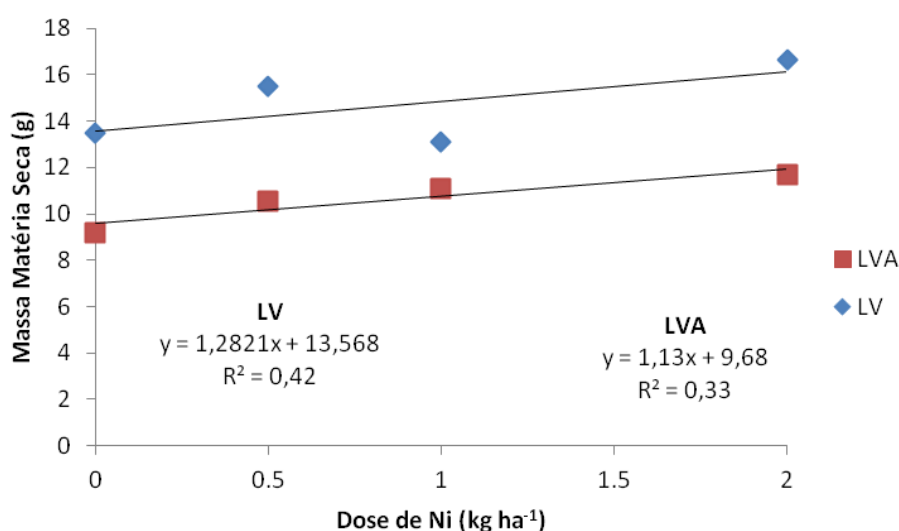


Figura 33: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) aos 70 DAP.

Houve aumento significativo, positivo e linear de massa de matéria seca da parte aérea das plantas, tanto para LV quanto para LVA, com a aplicação de Ni via solo, sendo que na maior dose, de 2 kg ha^{-1} , apresentou-se os maiores resultados. Nos dois solos o aumento da massa de matéria seca apresentou aumento linear em função das doses de Ni. Em LV, a maior dose de Ni aplicada via solo aumentou em 24% a massa de matéria seca da parte aérea das plantas, em comparação com a dose zero de Ni, de 13,47 g para 16,67 g. Em LVA, esse aumento da produção de massa de matéria seca foi de 28% em comparação com a dose zero de Ni, de 9,16 para 11,71 g (Figura 33).

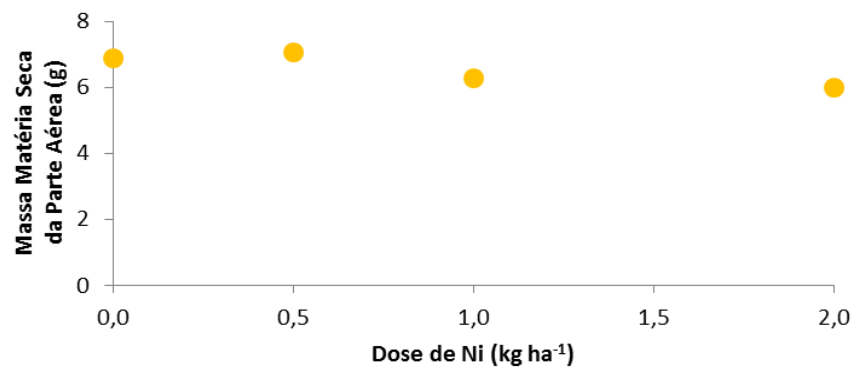


Figura 34: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via solo aos 110 DAP.

Aos 110 DAP, não houve modelo de regressão para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas que receberam Ni via solo (Figura 34). Foi possível notar a diminuição de massa de matéria seca na parte aérea no LV de 14% em relação a dose zero de Ni, passando de 7,93 g para 6,77 g por planta na dose 2 kg ha⁻¹. Para o LVA, a dose de 2 kg ha⁻¹ de Ni causou redução de 21% da massa de matéria seca da parte aérea, de 5,83 g na dose zero de Ni, para 4,58 g na maior dose de Ni aplicada via solo (Tabela 12 do Anexo I)

4.8.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Para as médias de resultados da massa de matéria seca da parte aérea das plantas que receberam doses crescentes de Ni aplicados via foliar, não houve ajuste ao modelo de regressão aos 70 DAP (Figura 35).

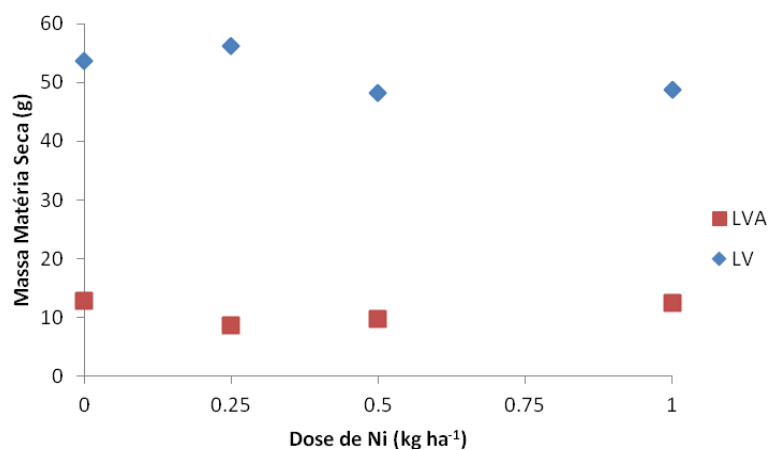


Figura 35: Massa da matéria seca das plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA) aos 70 DAP.

A fonte de Ni utilizada nas aspersão foliar causou desfolha em algumas plantas o que resultou na redução na massa de matéria seca, tanto no LV quanto no LVA aos 70 DAP. No LV a redução foi de 18% na dose 0,5 kg ha⁻¹, de 15,38 para 12,54 g. Para o LV, a redução de 32% foi na dose 0,25 kg ha⁻¹ de Ni aplicado via foliar, de 12,85 g para 8,64 g de massa de matéria seca da parte aérea das plantas (Tabela 11 do Anexo I).

Assim como os resultados observados na massa de matéria seca de grãos nas plantas que receberam aplicação de Ni via foliar, em ALOVISI et al. (2011) a produção de grãos de soja não foi afetada estatisticamente pela aplicação de Ni via foliar. Apesar do aumento na atividade da urease, não foi possível verificar o aumento na produtividade relacionado a esse atributo no presente experimento. Esses resultados contrastam com os de RODAK et al. (2012) no qual a produtividade dos grãos de arroz apresentou maiores valores com a aplicação de 1,0 kg ha⁻¹ de Ni e ureia via foliar. Esses autores concluem que o desdobramento da ureia em NH₃ e CO₂ no tecido vegetal das plantas de arroz maximizaram a eficiência do metabolismo do N, o que resultou em aumento na produtividade.

4.9. Acúmulo de Massa de Matéria Seca aos 40, 70 e 110 dias Após o Plantio

Para melhor compreender o efeito da aplicação de Ni na produção de massa de matéria seca ao longo do ciclo das plantas de soja, foram montados gráficos demonstrando o acúmulo da massa seca por vaso, ao longo dos períodos de coleta de plantas. Os dados englobam a soma da massa de matéria seca da parte aérea aos 40 e 70 DAP, e também a massa de matéria seca dos grãos aos 110 DAP.

4.9.1. Doses de Ni aplicadas via solo

A aplicação de Ni via solo, no LV, de 0,5 kg ha⁻¹ de Ni apresentou aumento de 52% na produção de massa de matéria seca por vaso em relação às demais doses testadas. Aos 110 DAP, esse aumento foi de 25% no acúmulo de matéria seca das plantas (Figura 36).

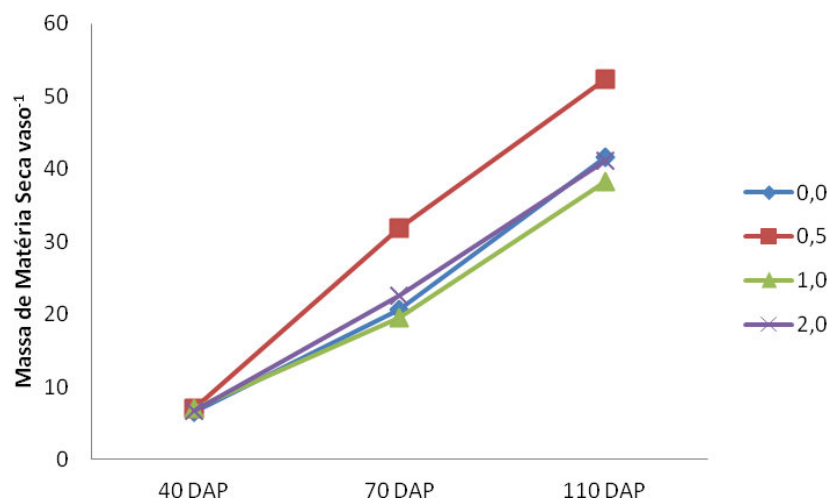


Figura 36: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférrico de textura argilosa (LV).

O efeito da aplicação de Ni via solo, no LVA, sobre o acúmulo de matéria seca de soja pode ser observado na Figura 37. A dose de 0,5 kg ha⁻¹ resultou em um acúmulo de massa de matéria seca 3% maior em relação a dose zero de Ni. A dose de 2,0 kg ha⁻¹ causou redução de 7% no acúmulo de massa de matéria seca por vaso (Figura 37).

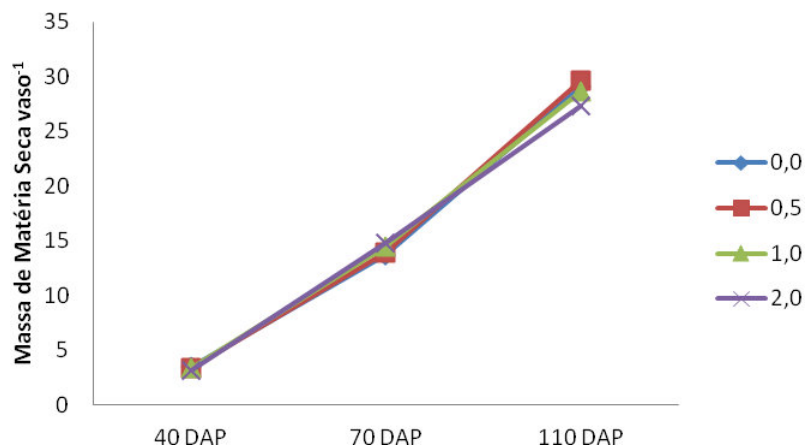


Figura 37: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

4.9.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

O acúmulo de matéria seca de plantas de soja dos 40 aos 110 DAP nas diferentes doses de Ni aplicadas via foliar pode ser observado na Figura 38.

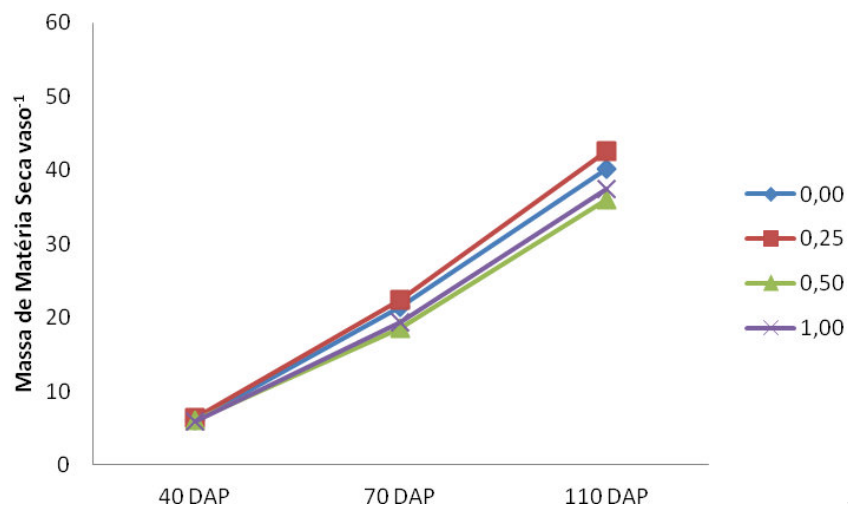


Figura 38: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV).

A aplicação de Ni via foliar no solo LVA não resultou em diferenças significativas para com as doses testadas (Figura 39). De acordo com os dados de massa de matéria seca acumulada nas plantas que receberam Ni via solo, doses menores de Ni podem ser mais vantajosas do que as doses utilizadas no experimento. Deve-se salientar que a desfolha causada pela aplicação de Cloreto de Ni pode ter contribuído para a redução do acúmulo de massa seca e estudos com outras fontes do elemento devem ser realizados para auxiliar no entendimento da dinâmica deste nutriente no sistema solo-planta.

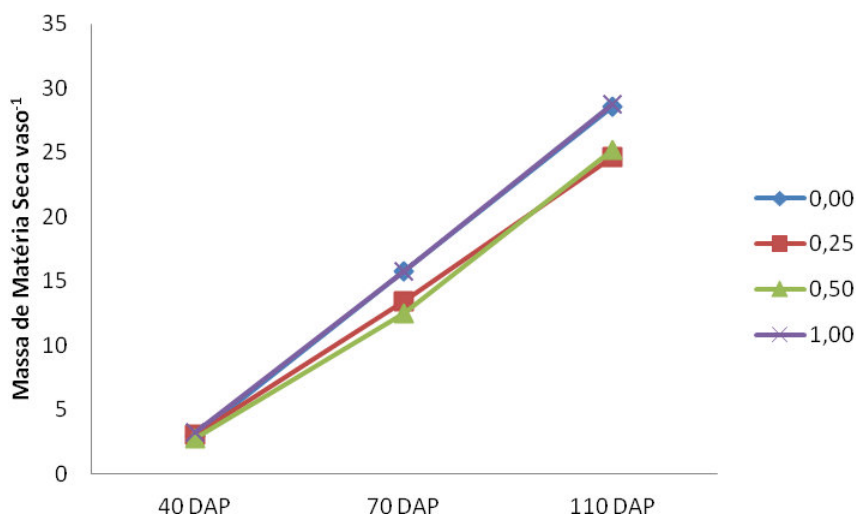


Figura 39: Acúmulo de massa da matéria seca nas plantas de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

4.10. Análise Qualitativa dos Grãos de Soja

4.10.1. Teor de macronutrientes

Na análise do teor de macronutrientes nos grãos, o fator dose apresentou efeito significativo para o teor de P, K, Ca, Mg e S na aplicação de Ni via solo, porém não houve ajuste aos modelos de regressão. Para a mesma forma de aplicação, o fator solo apresentou efeito significativo para K, Ca, Mg e S. A interação solo x dose foi significativa para K e S, porém não houve ajuste ao modelo de regressão (Tabela 13 do Anexo I).

Na aplicação de Ni via foliar, o fator solo apresentou efeito significativo no teor de todos os macronutrientes. O fator dose e a interação solo x dose apresentou efeito para o teor de Ca nos grãos, porém não houve ajuste ao modelo de regressão (Tabela 13 do Anexo I). Neste caso, convém ressaltar que fatores como a fertilidade natural diferencial entre os solos estudados também está contribuindo de maneira relevante para este resultado. Deve-se salientar que para aplicações foliares o efeito de diferentes solos apesar de indireto pode mascarar o efeito principal das doses testadas.

Os teores de N, K, Ca, Mg e S foram maiores no LV com aplicação via solo, sendo que não houve diferença entre os solos LV e LVA para o teor de P nos grãos, reflexo da aplicação de adubação de base quando da semeadura. Na aplicação de Ni via foliar, os teores de N e Mg foram maiores em LV, enquanto no LVA, foram maiores os teores de P, K e S (Tabela 13 do Anexo I).

Houve diferenças significativas quanto as duas formas de aplicação nos teores de N e Mg nos grãos. A média do teor de N na aplicação via solo foi de 55,5 g kg⁻¹, enquanto a média via foliar foi de 53,8 g kg⁻¹. Para o teor de Mg nos grãos, a média da aplicação de Ni via solo foi de 2,9 g kg⁻¹, enquanto a média do teor de Mg na aplicação via foliar foi de 2,5 g kg⁻¹ (Tabela 13 do Anexo I).

4.10.2. Teor de micronutrientes

Para os teores de micronutrientes em grãos, o fator dose foi significativo para os teores de Mn, porém sem ajuste ao modelo de regressão, e Ni tanto na aplicação via solo, quanto na aplicação via foliar (Tabela 14 do Anexo I).

Para a aplicação de Ni via solo, o fator solo foi significativo para os teores de B, Cu e Ni nos grãos de soja. O fator dose teve efeito significativo sobre os teores de Mn, porém sem ajuste ao

modelo de regressão e Ni nos nos grãos (Tabela 14 do Anexo I). Na aplicação de Ni via solo, os teores de Cu e Ni foram maiores nos grãos no LV. Os teores de B e Mn foram maiores nos grãos das plantas cultivadas no LVA.

Na aplicação de doses de Ni via foliar, o fator solo apresentou efeito positivo para os teores de B, Cu, Fe, Ni e Zn nos grãos de soja. O fator dose apresentou efeito sobre os teores de Mn e Ni, enquanto a interação dose x solo apresentou efeito positivo para os teores de Fe e Ni nos grãos de soja. Não houve ajuste ao modelo de regressão para os teores de Fe e Mn em grãos. Com a aplicação de Ni via foliar, os teores de B, Cu e Ni nos grãos foram maiores no LV, enquanto as médias de Fe não apresentaram diferenças, e os teores de Mn e Zn nos grãos foram maiores em LVA (Tabela 14 do Anexo I).

Os teores de Cu, Fe, Mn, Ni e Zn foram afetados pela forma de aplicação, sendo que o Ni foi o único micronutriente cujo teor foi maior nos grãos na aplicação via foliar, enquanto os teores dos outros micronutrientes, com exceção do B, foram maiores nos grãos na aplicação de Ni via solo. Os resultados observados para a aplicação de Ni solo foram de 8,9 mg kg⁻¹ de Cu, 72,9 mg kg⁻¹ de Fe, 40,2 mg kg⁻¹ de Fe e 50,6 mg kg⁻¹ de Zn. Para a aplicação de Ni via foliar, os teores observados nos grãos foram de 8,4 mg kg⁻¹ de Cu, 65,3 mg kg⁻¹ de Fe, 32,2 mg kg⁻¹ de Fe e 45,2 mg kg⁻¹ de Zn (Tabela 14 do Anexo I).

4.10.2.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Como não houve interação entre os fatores solo x dose, as médias gerais das doses foram utilizadas para a regressão do teor de Ni em grãos em função das doses de Ni. Pode-se notar um aumento da concentração do micronutriente nos grãos (Figura 40). Nas doses 0, 0,5, 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹, o acúmulo de Ni nos grãos no LV foram de 0,7, 1,1, 1,6 e 4,5 mg kg⁻¹ respectivamente.

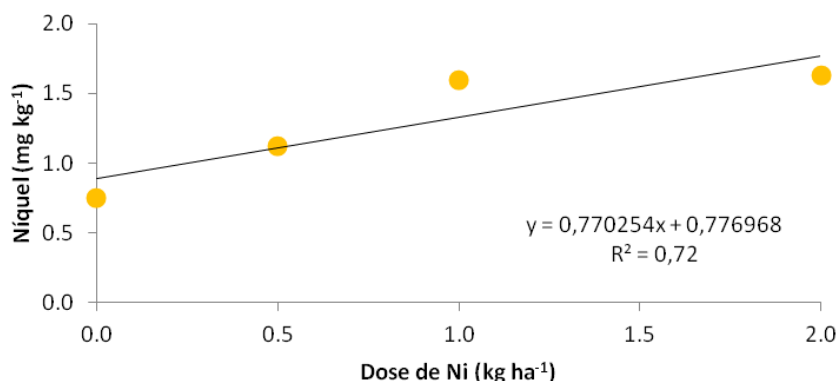


Figura 40: Médias do teor de níquel (Ni) em grãos de soja tratadas com Ni via solo

O máximo teor de Ni em grãos de soja, de acordo com a curva de resposta, foi de 2,0 kg ha⁻¹, referente a 2,3 mg kg⁻¹ de Ni nos grãos. O maior aumento de teor de Ni nos grãos de soja foi dado pela dose 1,0 kg ha⁻¹ em relação a dose 0,5 kg ha⁻¹, aumento de 0,5 mg kg⁻¹, ou aumento de 41% de Ni nos grãos (Figura 40).

4.10.2.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

Houve resposta significativa para a aplicação de Ni via foliar tanto no LV quanto no LVA para com os teores do elemento nos grãos (Figura 41). De acordo com as curvas obtidas na regressão, a dose que resultou no maior teor de Ni no LV foi 0,75 kg ha⁻¹, e de 1 kg ha⁻¹ em LVA. As doses de 0, 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ aplicados via foliar resultaram em 0,8, 5,7, 10,2 e 11,7 mg kg⁻¹ de Ni nos grãos no LV. Para o LVA, as doses crescentes de Ni resultaram em teor de Ni nos grãos de 0,4, 2,8, 4,5 e 6,5 mg kg⁻¹.

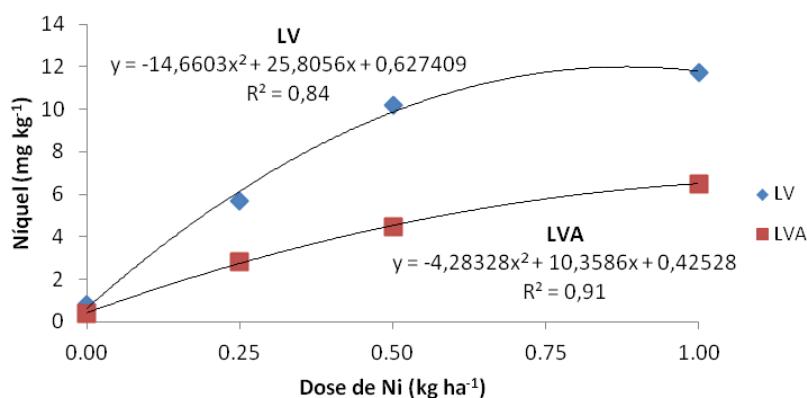


Figura 41: Teor de níquel (Ni) em grãos de soja tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV), e Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

De acordo com MARSCHNER (2012), o teor de Ni nos órgãos vegetativos está na faixa de 1 a 10 mg kg⁻¹ de matéria seca na maioria das plantas. Deve-se salientar entretanto que essa faixa não é específica para a soja. Segundo ESKEW et al. (1984), a quantidade de Ni necessária para a planta de soja é baixa, menor do que 160 ng planta⁻¹, sendo que toda a demanda pode ser atendida pela quantidade de Ni presente nas sementes. Desta forma a produção de sementes de soja com teores adequados de Ni seria uma forma inteligente de prevenir carência desse nutriente sem a necessidade do níquel ser aplicado, seja via solo ou foliar. O tema da biofortificação não é o escopo desse trabalho, portanto maiores inferências sobre o assunto não são cabíveis neste trabalho.

Os teores de Ni estimados em grãos que receberam aplicação via foliar nas doses de 0,25, 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹ em LV e na dose de 1,0 kg ha⁻¹ no LVA, encontram-se bem acima do teor máximo permitido em alimentos, que segundo a ABIA (1985) é de 5 mg kg⁻¹.

Para experimentos futuros, ou para a recomendação de aplicação de Ni em soja via foliar, é importante saber o teor de Ni disponível no solo. Assim, é possível manejar a dose de Ni aplicada via foliar de forma a não aumentar demasiadamente o teor de Ni nos grãos, quando a soja cultivada for destinada a alimentação. Já em casos de cultivo de soja semente, o Ni aplicado via foliar pode ser um agente de biofortificação dessas sementes, elevando o teor do elemento de forma a se ter o suprimento de Ni necessário já na germinação das plantas para que estas completem seu ciclo.

4.11. Comportamento do Ni nas Plantas de Soja x Textura do Solo x Formas de Aplicação

4.10.1. Doses de Ni aplicadas via solo

Com o aumento das doses aplicadas via solo no LV (Figura 42), o maior acúmulo de Ni encontrado nas análises da parte aérea foi aos 40 e aos 70 DAP. A partir dos 70 DAP, grande parte do Ni acumulado na parte aérea das plantas foi translocada para os grãos de soja. No LV, onde o solo apresentava altos teores disponíveis de Ni observou-se acúmulo nos grãos mesmo no tratamento controle. Cerca de 37% do acúmulo de Ni se apresentou na parte aérea das plantas aos 110 DAP nas doses crescentes de Ni aplicadas via solo, e o restante translocou-se para os grãos.

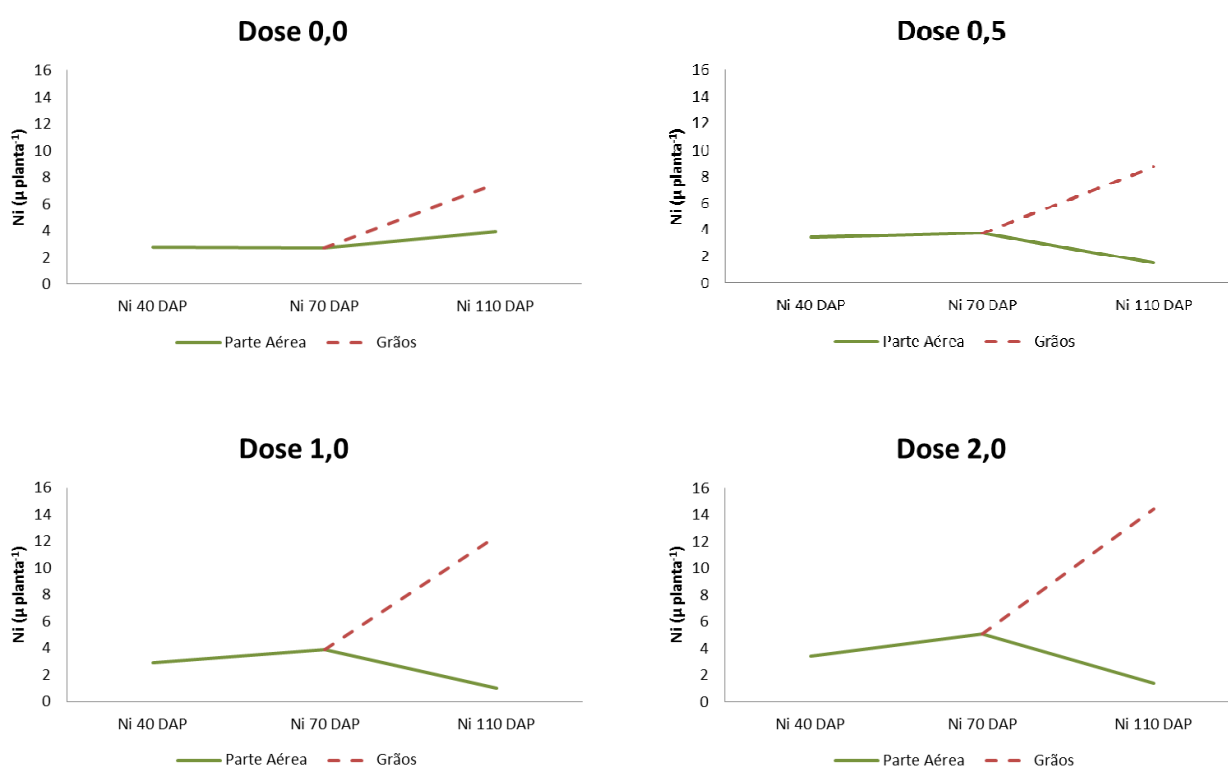


Figura 42: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja e grãos em plantas tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV).

No LVA, o maior acúmulo de Ni nas doses aplicadas via solo foi encontrado na parte aérea aos 70 DAP (Figura 43). Cerca de 70% do Ni acumulado na parte aérea das plantas foi translocado para as plantas, apesar do acúmulo no LVA ser menor do que o acúmulo de Ni das plantas do LV, devido a diferença no teor inicial disponível de Ni nos dois solos.

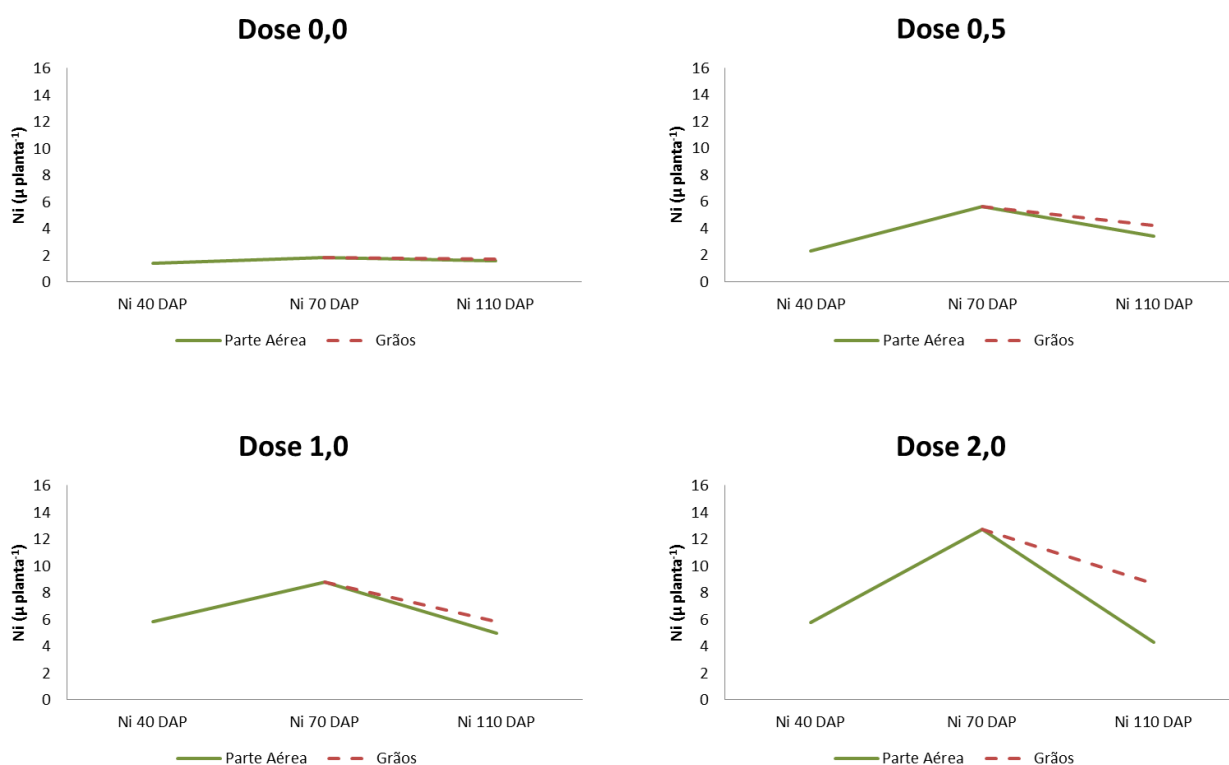


Figura 43: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via solo em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

De acordo com ZEITOUNI (2003), espécies solúveis, trocáveis e quelatadas de metais, como o Ni, são os mais móveis no solo, e governam sua migração e fitodisponibilidade. Existe uma grande correlação entre o conteúdo de metal nas plantas e a concentração de sua espécie móvel no solo (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 2001) sendo que os metais prontamente biodisponíveis para serem absorvidos pelas plantas são o Ni, Cd, As, Se e Cu. Metais moderadamente disponíveis são Co, Mn e Fe (SCHNOOR, 2002).

KORCAK e FANING (1985) concluíram que metais como o Ni aplicados em solos agrícolas sob a forma de sais metálicos como sais de sulfato, cloreto ou nitrato mostram-se mais disponíveis às plantas e mais extraíveis por DTPA que metais aplicados em quantidades equivalentes sob a forma de lodo de esgoto, e que permanecem ligados a matéria orgânica contida nesse material.

Devido à adsorção de Ni ser mais elevada no LV do que em LVA, o acúmulo de Ni nos grãos no LV foi maior provavelmente em função da maior disponibilidade natural do elemento. No LVA, as

plantas acumularam maior quantidade de Ni em sua parte aérea aos 110 DAP. Isso pode ser explicado pela menor adsorção do micronutriente na fase de troca desse solo. Nesse caso, as plantas de soja foram mais seletivas à sua absorção e translocação para os grãos.

4.10.2. Doses de Ni aplicadas via foliar

De acordo com a aplicação das doses de Ni via foliar no LV (Figura 44) e no LVA (Figura 45), os maiores acúmulos de Ni foram encontrados na parte aérea das plantas de soja aos 40 e 70 DAP.

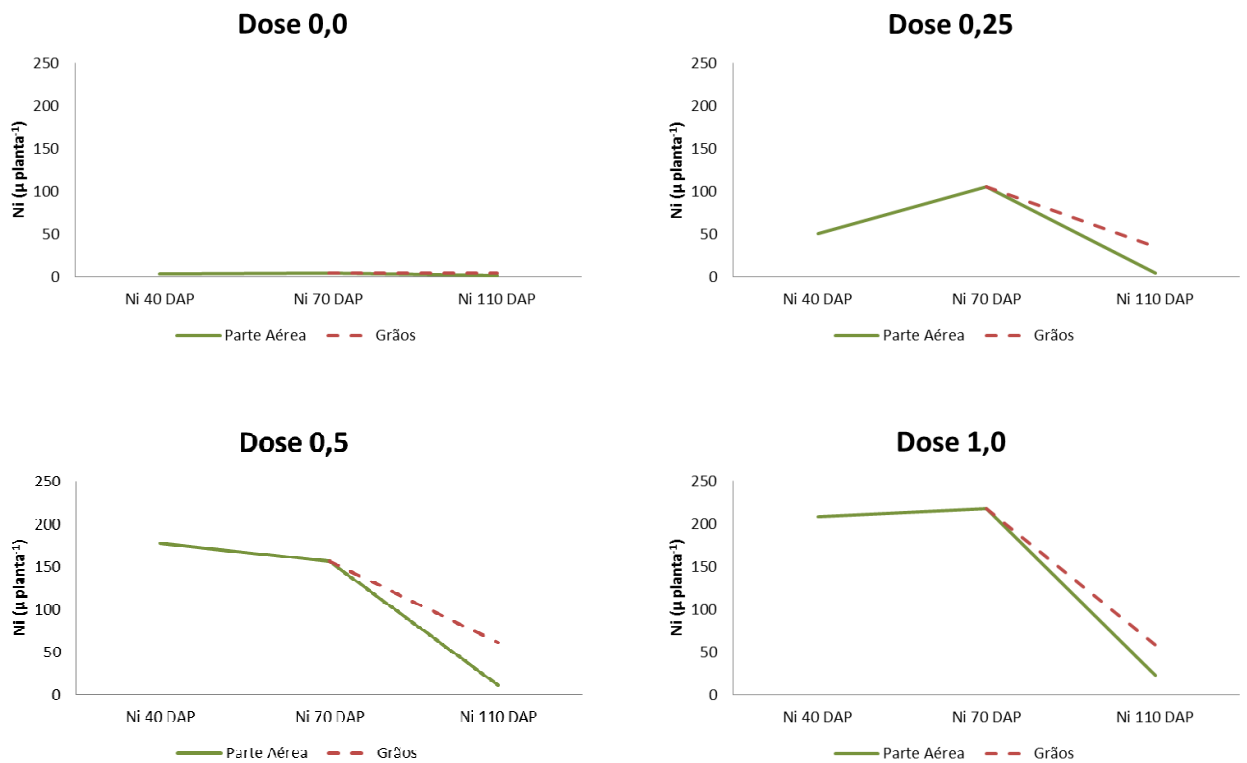


Figura 44: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa (LV).

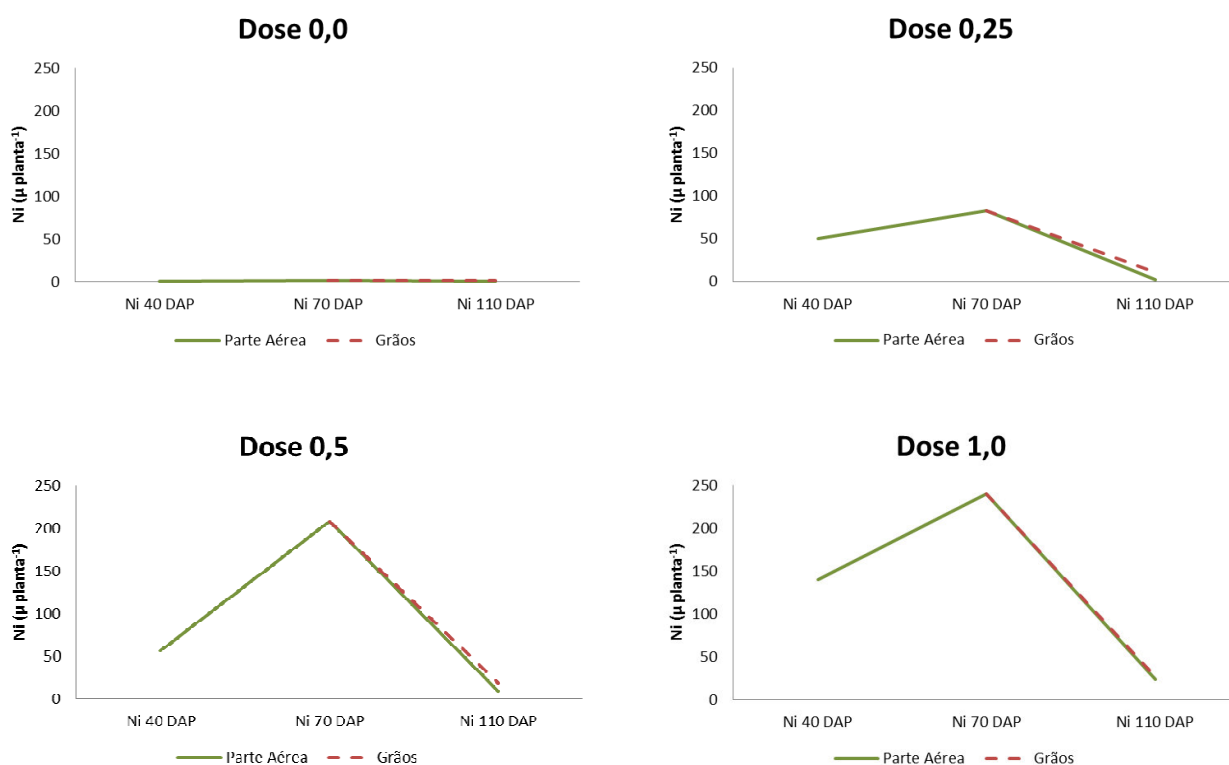


Figura 45: Acúmulo de níquel (Ni) na parte aérea de soja em plantas tratadas com Ni via foliar em Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa (LVA).

Em relação aos teores foliares deve –se destacar que apesar da minuciosa lavagem do material foliar de soja coletado dos vasos aos 40 e aos 70 DAP, alguma porção que ainda não havia sido totalmente absorvido, estando retido na cutícula das folhas, mas que não foi completamente aproveitado pelas plantas como nutriente. Isso pode ser verificado já que o alto acúmulo de Ni aos 70 DAP, tanto em LV quanto em LVA, não foi translocado para os grãos (Figura 44 e 45).

Os resultados de aplicações via foliar corroboram com as observações de CAMARGO e SILVA (1990), que dizem que os íons e moléculas, para serem absorvidos, devem ultrapassar duas barreiras: a barreira cuticular, para entrarem no apoplasto, e a barreira do plasmalena, para passarem ao simplasto, completando o fenômeno de absorção. No caso da aplicação de sais, como o cloreto de Ni, a maior parte do elemento fica retida na barreira cuticular, e não são imediatamente translocados para outras partes da planta.

Pode-se dizer que, no LV, devido ao maior teor inicial de Ni disponível, as plantas de soja continuaram absorvendo Ni ao longo do seu crescimento e desenvolvimento, e portanto, o teor do nutriente nos grãos foi alto, em média 4,42 mg kg⁻¹. No caso do LVA, apesar do alto acúmulo de Ni nos grãos nas doses mais altas, em média foi de 2,19 mg kg⁻¹, demonstrando que grande parte do Ni aplicado via foliar permaneceu na parte aérea das plantas, não sendo translocado para os grãos.

5 CONCLUSÕES

- As doses utilizadas no tratamento de semente foram tóxicas e impediram o desenvolvimento da cultura da soja.
- A textura do solo influencia na disponibilidade de Ni para as plantas de soja e conseqüentemente na sua resposta à adição desse micronutriente.
- O teor inicial de Ni disponível no solo devem ser levados em consideração quanto à forma de aplicação de Ni escolhida para a cultura da soja.
- A adição de Ni via solo e via foliar aumenta a atividade da urease em plantas de soja.
- A dose de 0,5 kg ha⁻¹ aplicada via solo com textura mais argilosa aumentou em 25% o acúmulo de massa de matéria seca nas plantas de soja.
- Doses a partir de 0,25 kg ha⁻¹ aplicadas via foliar aumentaram o teor de Ni nos grãos de soja, em médias acima do permitido para consumo como alimento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA – Associação Brasileira de Indústrias de Alimentação. Compêndio da Legislação de Alimentos. São Paulo. 1985, v.1, 185p.
- ABREU, C.A. Comparação de métodos para avaliar o manganês disponível de solos do Estado de São Paulo. Dissertação (doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.
- AGARWALA, S.C; BISCHT, S.S.; SHARMA, C.P. Relative effectiveness of certain heavy metals in producing toxicity and symptoms of deficiency in barley. **Canadian Journal of Botany**. Ottawa, v.55, p.1299-1307, 1977.
- ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environmental**. New York: Springer Verlag, 1986. 533 p.
- ALLOWAY, B.J. **Heavy Metals in Soils**. Chapman and Hall, London, 1995.
- ALOVISI, A.M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI, E.; SANTOS, M.J.G.; ALOVISI, A.A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde** v.15, n.2, 2011, p.25-32.
- ANDREEVA, I.V.; GOVORINA, V.V.; VINOGRADOVA, S.B.; YAGODIN, B.A., Nickel in Plants, **Agrokhimiya**, n.3, p.82-94, 2001.
- ARKOUN, M; JANNIN, L.; LAÏNÉ, P.; ETIENNE, P; MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; CITERNE, S; GARNICA, M; GARCIA-MINA, J.; YVIN, J; OURREY, A. A physiological and molecular study of the effects of nickel deficiency and phenylphosphorodiamidate (PPD) application on urea metabolism in oilseed rape (*Brassica napus* L.) **Plant and Soil**, v. 362, p.79-91, 2013.
- ARNON, D.I. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley and rice at different seasons in relation to hydrogen ion concentrations, manganese, copper and oxygen supplied. **Soil Science**, v. 44, n. 2, p. 91-121, 1937.
- BAI, C.; REILLY, C.C.; WOOD, B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant physiology**, v.140, n.2, p.433-443, 2006.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P.; GALLO, J. R. Métodos

- de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).
- BERTRAND, D. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les Rhizobium des nodosités des légumineuses. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences**, Paris, v. 276, n. 12, p. 1855-1858, 1973. (Serie D).
- BERTRAND, D.; WOLF, A. Le nickel et le cobalt des nodosites des legumineuses. **Bulletin de la Societe de Chimie Biologique**, v. 36, n. 6-7, p. 905-907, 1954.
- BRASIL. Instrução Normativa n. 5, de 23 de Fevereiro de 2007. Define e normatiza sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais destinados à agricultura.
- BROOKS, R. R.; REEVES, R. D.; BAKER, A. J. M.; RIZZO, J. A.; FERREIRA, H. D. The Brazilianserpentine plant expedition (BRASPEX), 1988. **National Geographic Research**, v.6, n.2, p.205-219, 1990.
- BROWN, P.H., WELCH,R.M., CARY, E.E. Nickel: a micronutrient essential for all higher plantas. **Plant Physiology**, v.85, p.801-803, 1987.
- BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; MADISON, J.T. Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid, and nitrogen levels in barley. **Plant and Soil**, v.125, n.1, p.19-27,1990.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.;RAIJ, B.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: Legis Summa, 2001. p.89-124.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, V.A.; VALADARES, J.M.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim técnico 106)
- CAMARGO, O.A.; ROVERS, H; VALADARES, J.M.A.S. Adsorção de níquel em Latossolos paulistas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.13, p.125-129, 1989.
- CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de nutrição foliar**. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1990. 251p.

- CARIDAD CANCELA, R. Contenido de macromicronutrientes, metales pesados y otros elementos en suelos naturales de São Paulo (Brasil) y Galicia (España). Tesis (Doctorado) - Universidad de A Coruña, A Coruña, España. 2002. 573p.
- CATALDO, D.A.; GARLAND, T.R.; WILDUNG, R.E.; DRUCKER, H. Nickel in plants II. Distribution and chemical form in soybean plants. **Plant Physiology**. v. 62, p. 566-570, 1978.
- CHECKAI, R.T., NORVELL, W.A., WELCH, R.M. Investigation of nickel essentiality in higher plants using a recirculating resin-buffered hydroponic system. **Agronomical Abstract**, 195, 1986.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005, 247p.
- CONAB. Levantamentos de safra. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em Janeiro de 2012.
- CROOKE, W.M.; INKSON; R.H.E. The relationship between nickel toxicity and major nutrient supply. **Plant and Soil**, v.6, p.1-15, 1955.
- DECHEN, A.R. NACTIGALL, G.R. III Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.
- DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BRAKELEY, R.L.; ZERNE, B. Jack Bean Urease. A metalloenzyme. A simple biological role of nickel? **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, p. 4131-4133, 1975.
- DIXON, N.E.; HINDS, J.A.; FIELLY, A.K.; GAZZOLA, C.; WINZOR, D.J.; BRAKELEY, R.L. ZERNER, B. Jack Bean Urease (EC 3.5.1.5).IV. The molecular size and the mechanism of inhibition by hydroxamic acids. Spectrophotometric titration of enzymes with reversible inhibitors. **Canadian Journal of Biochemistry**, v.58, p. 1234-1323, 1980.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an

- essential role. **Plant Physiology**, v. 76, n. 3, p. 691-693, 1984.
- ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. **Science**, v. 222, p. 621-623, 1983.
- FORSYTH, F. R.; PETURSON, B. Chemical control of cereal rusts. 4. The influence of nickel compounds on wheat, oat, and sunflower rusts in the greenhouse. **Phytopathology**, v. 49, n. 1, p. 1-3, 1959.
- GERENDAS, J.; POLACCO, J. C.; FREYERMUTH, S. K.; SATTELMACHER, B. Significance of nickel for plant growth and metabolism. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 162, n. 3, p. 241-256, 1999.
- GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. **Plant and Soil**. Dordrecht, v.190, p.153-162, 1997.
- GOMES, P.C.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M; Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.21, n.4, p.543-551, 1997.
- HARTER, R.D.; NAIDU, R. An assessment of environmental and solution parameter impact on trace-metal sorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n.3, p.597-612, 2001.
- HAYMS, D. Curve expert 1.37. Microsoft Corporation, 1993. Disponível em <http://www.curveexpert.net/>. Acesso em Dezembro de 2012.
- HOGAN, M.E.; SWIFT, I.E.; DONE, J. Urease assay and ammonia release from leaf tissue. **Phytochemistry**, Oxford, v.22, p.663-665, 1983.
- HUNTER, J.G.; VERGNANO, O. Trace elements toxicities in oat plants. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v.40, p.761-777, 1953.
- JOHNSON, C.M. Molybdenum. In: CHAPMAN, H.D.; Ed. **Diagnostic criteria for plants and soils**. University of California, Riverside, p. 286-301, 1966.
- KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Florida: CRC

- PRESS, 2001. 413p.
- KHALID, B.Y.; TINSLEY, J. Some effects of nickel toxicity on rye grass. **Plant and Soil**, v.55, n.1, p.139-144, 1980.
- KORCAK, R.F.; FANNING, D.S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science**, v.140, n.1, p.23-34, 1985.
- KLUCAS, R.V.; HANUS, F.J.; STERLING, A.R.; EVANS, H.J. Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 80, p. 2253-2257, 1983.
- KROGMEIER, M.J.; McCARTY, G.W.; SHOGREN, D.R.; BREMNER, J.M. Effect of nickel deficiency in soybean on the phytotoxicity of foliar-applied urea. **Plant and Soil**, v.135, p.283-286, 1991.
- LOGAN, T.J.; CHANEY, R.L. Metals. In: WORKSHOP ON UTILIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE ON LAND, Riverside, 1983. Proceedings. Riverside, University of California, p. 235-323, 1983.
- LOVATT, C.J.; ZHENG, Y.S.; HAKE, K.D. Demonstration of a change in nitrogen-metabolism influencing flower initiation in citrus. **Israel Journal of Botany**, v.37, n.2-4, p.181-188, 1988.
- LOZANO, F. C.; MORRISON, I. K. Disruption of hardwood nutrition by sulfur dioxide, nickel and copper air pollution near Sudbury, Canadá. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.10, n.2, p.198-204, 1981.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. **Níquel – de tóxico a essencial**. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=16133>. Acesso em Outubro de 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

- MALAVOLTA, E.; LEÃO, H.C.; OLIVEIRA, S.C.; LAVRES JR.; J.; MORAES, M.F.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, M. Repartição de nutrientes nas flores, folhas e ramos de laranja cv Natal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.3, p.506-511, 2006.
- MARQUES, T.C.L.L.S.M. **Crescimento e absorção mineral de mudas de espécies arbóreas em material de solo contaminado com metais pesados**. Lavras, 1996. 116p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. London Academic Press, 2012. 651p.
- MASUDA, T. **Produção mundial**. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. 45p. (Fundação MT. Boletim de Pesquisa de Soja, 13).
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos com clima tropical em diferentes valores de pH. Tese Livre Docência – ESALQ/USP. Piracicaba, 1994.
- McCLURE, P.R.; ISRAEL, D.W. **Plant Physiology**, v. 64, p. 411-416, 1979.
- McGRATH, S.P., SMITH, S. Nickel. In: ALLOWAY. B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p.125-50.
- MELLIS, E.V., CRUZ, M.C.P., CASAGRANDE, J.C. Nickel adsorption by soils in relation to pH, organic matter and iron oxides. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.2, p.190-195, 2004.
- MELLIS, E.V. Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn em solo tratado com lodo de esgoto. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
- MISHRA, D.; KAR, M. Nickel in plant growth and metabolism. **Botanical Review**, v. 40, n. 4, p. 395-452, 1974.
- MITCHELL, R.L. Cobalt and nickel in soils and plants. **Soil Science**, v.60, p.63-70, 1945.
- NETO, A.P. Metabolismo do nitrogênio e concentração de nutrientes de café irrigado em razão da dose de N. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009. 93p.

- NEVES, O.S.C.; FERREIRA, E.V.O.; CARVALHO, J.G.; SOARES, C.R.F.S. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n.31, p.485-490, 2007.
- NIELSEN, F.H. Nickel. In: **Biochemistry of the essential ultratrace elements**.p.293-308 E. Frienden, ed. Plenum Press. New York e London, 1984. 426p.
- OLIVEIRA, T. C. Atividade da urease e crescimento de alface no solo em resposta à níquel. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 40p.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A., Soja. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. v.3. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. 467p.
- PAIVA, H.N., CARVALHO, R.; SILVA, F.P.; CARVALHO, J.G., MELLONI, R. Influência de doses de níquel sobre o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.114-121, 2001.
- PAIVA, H. N.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O.; FERNANDES, A.R.; MIRANDA, J. R. P. Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart) Standley). **Scientia Forestalis**, n.63, p.158-166, 2003.
- PALACIOS, G., GÓMEZ, I.; CARBONELI-BARRACHINA, A.; NAVARRO PEDREÑO, J; MATAIZ, J. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, p.2179-2191, 1998.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas II. Caracterização de toxidez de níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.323-328, 1982.
- PEREIRA, J.M.N. Doses de Cd, Pb, Cu, Zn e Ni em latossolos: efeitos no solo e nas plantas de alface e feijão. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006, 131p.
- POLACCO, J.C. Is nickel a universal component of plant urease? **Plant Science**, v. 10, p. 249-255, 1977b.
- POLACCO, J.C. Nitrogen metabolism in soybean tissue culture. **Plant Physiology**, v. 58, p. 827-830,

1977a.

POLACCO, J.C.; HAVIR, E.A. Comparisons of soybean urease isolated from seed and tissue culture. **J. Biol Chem**, v. 254, p. 1707-1715, 1979.

POLACCO, J.C.; MAZZAFERA, P.; TEZZOTO, T. Opinion – Nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Science**, v.199-200, p.79-90, 2013.

POULIK, Z. The danger of accumulation of nickel in cereals on contaminated soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.63, p.25-29, 1997.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em Outubro de 2012.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Os métodos de análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J.A (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, p.251-256.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, 2011. 420p.

REIS, T.C. Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl₂e biossólido. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

REHAB, F.I.; WALLACE, A. Excess trace metal effects on cotton. 6. Nickel and cadmium in yolo loam soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.8, n.8, p.779-784, 1978.

ROACH, W. A.; BARCLAY, C. Nickel and multiple trace element deficiencies in agricultural crops. **Nature**, v. 157, n. 3995, p. 696, 1946.

RODAK, B.W.; TEIXEIRA, W.W.R.; MENEZES, E.P.; ALVES, M.J.F.; DALPISOL, M.; PASCOALINO, J.A.L.; PAULETTI, V.; MORAES, M.F. Métodos de aplicação de Molibdênio e Níquel no Arroz de terras altas. In: **Fertbio**, 2012, Maceió. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 2012, v.30.

- RUTER, J. M. Effect of nickel applications for the control of mouse ear disorder on River Birch. *Journal of Environmental Horticulture*, v. 23, n. 1, p. 17-20, 2005.
- SAUERBECK, D.R.; HEIN, A. The nickel uptake from different soils and prediction by chemical extractions. **Water, Air and Soil Pollution**. Dordrecht, v.57/58, p. 861-971, 1991.
- SCHNOOR J. L. Phytoremediation of Soil and Groundwater. **Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center**, 2002.
- SENESI, N.; SPOSITO, G.; HOLTZCLAW, K.M.; BRADFORD, G.R. Chemical properties of metal-humic fractions of a sewage sludge-amended Aridisol. **Journal of Environmental Quality**, v.18, p.186-194, 1989.
- SEREGIN, I.V., KOZHEVNIKOVA, A.D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.53, n.2, p.257-277, 2006.
- SHIMADA, N., ANDO, T., TOMIYAMA, M. KAKU, H. Role of nickel in plant nutrition. I. Effects of nickel on growth of tomato and soybean. **Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi**, v.51, p.487-492, 1980a.
- SHIMADA, N.; ANDO, T. Role of nickel in plant nutrition II. Effect of nickel on assimilation of urea by plants. **Nippon Dojo Hiriyogaku Zasshi**, v. 51, p. 493-496, 1980b.
- SODRÉ, F.F.; LENZI, E.; COSTA, A.C.S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. *Química Nova*, v. 24, n.3, p.:324-330, 2001.
- SMITH, N. G.; WOODBURN, J. Nickel and ethylene involvement in the senescence of leaves and flowers. **Naturwissenschaften**, v. 71, n. 4, p. 210-211, 1984.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.
- TEMP, G.A. Nickel in plants and its toxicity: Resistance of wild species to heavy metals. Ed. Leningrad, Lenuprizdat, p.139-146, 1991.
- UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy*, New York, n. 48, p.141-203, 1992.

- URETA, A. C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J. M. Rhizobium leguminosarum biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 11, p. 7603-7606, 2005.
- WALLACE, A.; CHA, J.W.; CHAUDHRY, F.M.; KINNEAR, J.; ROMMEY, E.M. Tolerance of rice plants to trace metals. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.8, n.9, p.809-817, 1977a.
- WELCH, R. M. The biological significance of nickel. **Journal of Plant Nutrition**, v. 3, p. 345-356, 1981.
- WELCH, R.M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Review in Plant Sciences**, v.14, n.1, p. 49-82, 1995.
- WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A.P. Mouse-ear of pecan: I. Symptomatology and occurrence. **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 87-94, 2004a.
- WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A.P. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 95-100, 2004b.
- WOOD, B.W.; REILLY, C.C. NYCZEPIR, A.P. Field deficiency of nickel in trees: symptoms and causes. **Acta Horticulturae**, v.721, p.83-98, 2006.
- YANG, X.; BALIGAR, V.C.; MARTENS, D.C.; CLARK, R.B. Plant tolerance to nickel toxicity: 2-nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. **Journal of plant nutrition**, v.19, n.2, p.265-279, 1996a.
- ZEITOUNI, C.F. Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho-amarelo distrófico. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003. 91p.

ANEXOS - ANEXO I

Tabela 1 (Anexo I): Média de acúmulo de nutrientes aos 40, 70, 110 dias após o plantio (DAP) na parte aérea e acúmulo de nutrientes em grãos, e seu translocamento em função das formas de aplicação de Ni e solos utilizados. Latossolo vermelho eutroférico (LV) e Latossolo vermelho-amarelo (LVA).

Aplicação de Ni via Solo										
Solo	LV					LVA				
Período	40	70	110	Grãos	Translocamento	40	70	110	Grãos	Translocamento
Nutrientes	----- mg planta ⁻¹ -----			-----	----- % -----	----- mg planta ⁻¹ -----			-----	----- % -----
N	114,0	97,2	96,8	352,4	70,9	64,9	93,0	19,4	313,5	81,2
P	11,5	11,3	11,3	42,2	73,1	11,7	11,3	10,1	31,1	64,5
K	76,2	59,8	59,1	172,8	62,4	32,6	55,8	36,2	125,2	66,8
Ca	45,1	34,2	33,9	22,0	-71,9	14,1	31,5	8,7	15,9	-13,7
Mg	15,9	14,6	14,5	18,6	19,5	12,5	14,3	11,6	15,4	16,9
S	5,8	4,8	4,7	21,6	76,4	2,9	4,5	3,0	14,1	75,2
	----- µg planta ⁻¹ -----				----- % -----	----- µg planta ⁻¹ -----				----- % -----
B	170,7	196,1	196,5	180,7	-3,9	247,3	202,4	109,6	228,4	18,4
Cu	2,8	4,4	4,2	62,2	93,9	10,5	4,8	7,2	49,0	84,7
Fe	377,9	323,2	321,9	466,1	26,8	218,0	309,6	194,4	355,2	32,2
Mn	206,9	181,3	180,1	203,0	6,6	138,4	174,9	83,3	153,2	13,7
Ni	3,1	39,1	48,1	10,7	-182,2	3,8	48,1	3,6	40,2	54,0
Zn	113,8	111,3	110,8	314,2	64,4	112,2	110,7	112,9	238,1	53,0
Aplicação de Ni via Foliar										
	LV					LVA				
	40	70	110	Grãos	Translocamento	40	70	110	Grãos	Translocamento
	----- mg planta ⁻¹ -----			-----	----- % -----	----- mg planta ⁻¹ -----			-----	----- % -----
N	112,8	100,1	78,3	246,4	60,6	97,2	96,9	72,8	203,5	56,3
P	10,8	11,2	11,0	32,6	66,3	11,3	11,3	10,9	30,4	63,2
K	70,8	61,6	54,0	111,0	44,1	59,8	59,3	52,1	117,2	51,3
Ca	43,5	35,9	28,1	12,8	-179,2	34,2	34,0	26,2	11,3	-177,4
Mg	15,4	14,7	13,8	12,8	-14,5	14,6	14,5	13,6	9,5	-49,7
S	5,6	4,9	4,3	11,8	58,2	4,8	4,7	4,2	11,3	59,7
	----- µg planta ⁻¹ -----				----- % -----	----- µg planta ⁻¹ -----				----- % -----
B	170,2	191,2	173,5	167,3	-6,6	196,1	196,5	169,0	102,7	-82,3
Cu	0,0	3,4	4,8	36,2	92,4	4,4	4,3	5,1	30,8	85,0
Fe	373,9	332,5	292,7	334,1	0,3	323,2	322,1	282,8	263,2	-17,5
Mn	198,6	184,0	157,0	217,3	17,2	181,3	180,4	150,2	146,5	-16,5
Ni	110,3	59,1	39,3	5,1	-1261,9	39,1	46,3	34,3	13,8	-189,2
Zn	108,0	110,4	111,2	231,7	52,6	111,3	110,9	111,5	188,1	40,9

Tabela 2 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 40 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	mg planta ⁻¹					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	116,3	10,8	75,0	42,9	14,8	5,5
	0,5	125,7	11,7	78,3	46,6	16,5	6,0
	1,0	110,4	11,7	76,9	46,5	16,6	5,9
	2,0	103,7	11,7	74,4	44,4	15,6	5,7
	Média LV	114,0 A	11,5 A	76,1 A	45,11 A	15,85 A	5,81 A
LVA	0	72,4	13,0	34,0	14,3	12,6	3,3
	0,5	67,3	11,0	31,9	13,8	12,3	3,0
	1,0	61,8	11,8	34,4	15,0	12,9	2,6
	2,0	58,0	11,1	29,9	13,3	12,1	2,8
	Média LVA	64,9 B	11,7 A	32,6 B	14,1 B	12,5 B	2,9 B
	CV%	22,2	26,7	22,0	19,0	20,6	18,6
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo		*	ns	*	*	*	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	mg planta ⁻¹					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	115,3	10,3	65,0	42,8	15,5	5,6
	0,25	110,3	10,4	74,4	41,1	14,4	5,3
	0,50	107,9	11,1	75,7	45,4	15,5	5,4
	1,00	117,4	11,4	68,0	44,6	16,2	5,9
	Média LV	112,8 A	10,8 A	70,8 A	43,5 A	15,4 A	5,6 A
LVA	0	58,3	8,1	26,0	10,8	9,1	2,6
	0,25	63,9	10,9	29,3	14,2	11,2	3,2
	0,50	50,0	9,6	28,4	11,2	10,1	2,5
	1,00	62,0	11,9	35,0	13,5	11,7	3,1
	Média LVA	58,6 B	10,12 A	29,7 B	12,5 B	10,5 B	2,9 B
	CV%	43,5	51,9	42,5	43,0	48,7	43,0
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo		*	ns	*	*	*	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Forma de Aplicação		ns	*	ns	ns	*	ns
Média Aplicação via Solo		89,5 a	11,6 a	54,4 a	29,6 a	14,2 a	4,4 a
Média Aplicação via Foliar		85,7 a	10,5 a	50,2 a	27,9 a	12,9 a	4,2 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo

Tabela 3 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	mg planta ⁻¹					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	167,3	20,7	137,2	98,3	31,3	10,1
	0,5	348,3	32,6	174,4	161,4	51,5	16,9
	1,0	161,1	19,8	126,5	83,8	27,3	9,6
	2,0	206,0	23,9	151,6	113,7	36,4	12,5
	Média LV	220,7 A	24,2 B	147,5 A	114,3 A	36,60 A	12,3 A
LVA	0	136,8	35,7	101,4	48,8	37,2	8,5
	0,5	139,1	39,3	105,1	48,4	38,1	8,6
	1,0	152,3	37,3	105,3	49,9	39,0	8,7
	2,0	158,2	39,4	107,7	54,8	43,5	9,6
	Média LVA	146,6 B	37,9 A	104,9 B	50,5 B	39,4 A	8,9 B
	CV%	45,9	27,8	36,2	45,9	34,3	38,8
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo		*	*	*	*	ns	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	mg planta ⁻¹					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	178,1	21,7	145,7	111,7	35,5	10,6
	0,25	210,3	22,5	143,8	117,1	35,8	11,5
	0,50	164,8	21,9	128,8	96,5	28,2	9,8
	1,00	185,8	18,4	131,4	92,2	28,5	9,3
	Média LV	184,7 A	21,1 A	137,4 A	104,3 A	32,0 B	10,3 A
LVA	0	165,3	38,2	130,8	55,8	45,7	9,9
	0,25	130,9	32,1	80,4	52,3	39,1	8,0
	0,50	136,0	34,5	92,5	50,8	37,4	8,3
	1,00	177,4	37,7	119,2	58,4	47,2	9,8
	Média LVA	152,4 B	35,6 B	105,7 B	54,31 B	42,4 A	9,0 B
	CV%	19,7	20,4	20,5	24,4	26,1	20,2
Dose		ns	ns	*	ns	ns	ns
Solo		*	*	*	*	*	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Forma de Aplicação		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		183,6 a	31,1a	126,2 a	82,4 a	38,0a	10,6 a
Média Aplicação via Foliar		168,6 a	28,4 a	121,6 a	79,3a	37,2 a	9,7 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo

Tabela 4 (Anexo I): Acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	----- mg planta ⁻¹ -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	28,4	3,7	38,6	25,7	11,3	1,7
	0,5	30,2	4,5	60,0	41,7	17,4	3,0
	1,0	23,7	4,5	48,9	33,9	13,7	2,5
	2,0	27,2	6,4	52,4	37,4	15,3	2,3
	Média LV	27,4 A	4,8 B	50,0 A	34,6 A	14,4 A	2,4 A
LVA	0	19,8	10,3	37,1	9,5	13,8	3,3
	0,5	19,4	10,6	42,8	8,8	13,4	2,4
	1,0	16,1	11,5	40,2	10,7	11,3	3,0
	2,0	21,9	7,9	24,4	5,8	7,9	3,1
	Média LVA	19,3 B	10,1 A	36,1 B	8,7 B	11,5 B	2,9 A
	CV%	26,7	27,7	20,4	30,5	21,7	36,5
Dose		ns	ns	*	ns	*	ns
Solo		*	*	*	*	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	*	*	*	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	----- mg planta ⁻¹ -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	25,1	4,3	48,1	32,7	13,5	2,2
	0,25	29,5	5,1	52,4	46,2	18,0	3,1
	0,50	29,5	6,1	63,2	42,6	16,7	2,9
	1,00	23,4	3,9	55,8	41,5	16,3	2,4
	Média LV	26,9 A	4,8 B	54,9 A	40,7 A	16,1 A	2,7 A
LVA	0	15,4	7,9	28,5	4,7	8,4	2,6
	0,25	17,5	9,4	20,3	4,7	7,4	2,5
	0,50	16,4	10,8	42,3	21,5	17,8	3,6
	1,00	18,6	13,7	49,4	25,3	20,8	2,9
	Média LVA	17,4 B	10,3 A	35,1 B	14,0 B	13,6 B	2,9 A
	CV%	42,6	26,4	23,3	23,3	14,5	31,9 A
Dose		ns	ns	*	*	*	ns
Solo		*	*	*	*	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns	*	*	ns
Forma de Aplicação		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		23,3a	7,4 a	43,1 a	21,6 a	13,0 a	2,7 a
Média Aplicação via Foliar		21,9 a	7,6 a	45,0 a	27,4 a	14,8 a	2,8 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo

Tabela 5 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 40 (DAP) em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	150,0	5,4	395,1	200,8	2,7	106,8
	0,5	172,0	3,3	385,4	196,9	3,4	126,6
	1,0	181,1	2,4	377,1	230,3	2,9	115,0
	2,0	179,7	0,0	353,9	199,7	3,4	106,8
	Média LV	170,7 B	2,8 B	377,9 A	206,9 A	3,1 A	113,8 A
LVA	0	245,7	12,4	243,7	148,2	1,4	117,3
	0,5	245,8	9,8	201,6	140,1	2,3	104,8
	1,0	249,1	9,8	237,3	140,5	5,8	122,0
	2,0	248,7	10,0	189,2	124,7	5,8	104,5
	Média LVA	247,3 A	10,5 A	218,0 B	138,4 B	3,8 A	112,2 A
	CV%	17,6	41,9	34,6	28,3	32,1	35,8
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo		*	*	ns	ns	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	*	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	157,6	0,0	399,7	212,8	3,2	112,3
	0,25	163,8	0,0	355,0	169,4	51,1	96,1
	0,50	174,5	0,1	339,0	202,5	177,9	103,7
	1,00	185,1	0,0	401,7	209,7	208,8	120,1
	Média LV	170,2 A	0,0 B	373,9 A	198,6 A	110,3 A	108,0 A
LVA	0	186,5	10,6	207,9	111,6	1,1	81,3
	0,25	269,9	11,1	224,8	151,7	50,2	108,2
	0,50	157,9	8,9	155,6	103,5	56,6	79,2
	1,00	252,8	11,3	227,5	144,4	139,9	105,0
	Média LVA	216,8 A	10,5 A	204,0 B	127,8 B	61,9 B	93,4 A
	CV%	22,6	27,1	22,9	21,3	44,0	30,3
Dose		ns	ns	ns	ns	*	ns
Solo		*	*	*	*	ns	ns
Dose X Solo		ns	ns	*	ns	ns	ns
Forma de Aplicação		Ns	ns	ns	ns	*	ns
Média Aplicação via Solo		209,0 a	6,6 a	297,9 a	172,7 a	3,5 b	113,0 a
Média Aplicação via Foliar		193,5 a	5,2 a	288,9 a	163,2 a	86,1 a	100,7 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo

Tabela 6 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 70 DAP em em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	455,0	30,4	840,8	529,1	2,7	239,7
	0,5	581,9	54,1	1191,7	795,8	3,7	422,6
	1,0	398,2	26,3	686,5	415,6	3,9	192,6
	2,0	532,5	34,8	786,1	551,0	5,1	264,6
	Média LV	491,9 B	36,4 A	876,2 A	572,9 A	3,8 B	279,9 A
LVA	0	885,9	31,6	720,7	497,9	1,8	228,9
	0,5	952,2	27,1	679,6	499,5	5,6	222,3
	1,0	812,0	25,6	743,9	494,2	8,8	334,4
	2,0	961,3	29,2	839,6	585,7	12,7	396,9
	Média LVA	902,8 A	28,4 A	745,9 A	519,3 A	7,2 A	295,6 A
	CV%	23,3	72,7	22,5	21,1	42,2	32,3
Dose		ns	ns	ns	ns	*	ns
Solo		*	ns	ns	ns	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	*	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	454,3	36,0	983,0	515,1	4,7	198,3
	0,25	507,3	37,3	1205,5	589,2	105,0	169,6
	0,50	418,8	34,2	837,6	459,4	156,5	183,6
	1,00	517,0	43,0	1024,2	409,9	217,5	197,2
	Média LV	474,4 B	37,6 A	1012,6 A	493,4 A	120,9 A	187,2 B
LVA	0	891,6	33,6	848,3	539,9	1,8	403,1
	0,25	690,9	29,6	668,0	441,6	83,2	323,6
	0,50	836,6	26,1	808,5	494,2	208,1	329,5
	1,00	924,7	31,9	901,3	559,4	240,1	396,0
	Média LVA	835,9 A	30,3 B	806,5 B	508,8 A	133,3 A	363,0 A
	CV%	61,5	110,7	42,8	44,9	74,6	49,9
Dose		*	ns	ns	ns	*	ns
Solo		ns	*	*	ns	ns	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	*	ns	ns
Forma de Aplicação		*	*	ns	ns	*	ns
Média Aplicação via Solo		697,4 a	32,4 b	811,1 b	546,1 a	5,5 b	287,8 a
Média Aplicação via Foliar		655,1a	34,0 a	909,5 a	501,1 a	127,1 a	275,1 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 7 (Anexo I): Acúmulo de micronutrientes na parte aérea das plantas aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	85,4	9,9	313,3	114,8	3,9	66,1
	0,5	131,2	13,1	292,2	104,7	1,5	72,9
	1,0	98,5	10,3	374,0	83,7	1,0	63,3
	2,0	116,9	9,6	276,1	111,3	1,4	58,4
	Média LV	108,0 A	10,7 A	313,9 A	103,6 A	2,0 B	65,2 B
LVA	0	130,1	7,9	140,6	91,4	1,6	87,5
	0,5	126,3	7,3	231,0	100,5	3,4	125,3
	1,0	110,1	7,8	279,0	89,5	5,0	153,6
	2,0	71,9	5,6	126,9	51,9	4,3	85,0
	Média LVA	109,6 A	7,2 A	194,4 B	83,3 B	3,6 A	112,9 A
	CV%	28,8	22,9	41,7	30,9	63,1	38,3
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	*
Solo		ns	*	*	ns	*	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	*	*
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	----- µg planta ⁻¹ -----					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	109,2	9,7	310,2	91,0	1,3	56,9
	0,25	142,4	11,1	465,2	126,1	4,5	70,6
	0,50	137,0	12,0	404,4	96,4	10,8	70,1
	1,00	140,1	11,2	425,8	124,5	22,7	84,5
	Média LV	132,2 A	11,0 A	401,4 A	109,5 A	9,8 A	70,5 A
LVA	0	73,1	5,6	89,5	49,6	1,1	67,7
	0,25	76,6	6,1	83,0	39,0	2,7	68,1
	0,50	133,8	10,4	336,8	127,9	9,6	131,1
	1,0	211,6	10,5	475,8	235,7	23,5	174,1
	Média LVA	123,8 A	8,1 B	246,3 B	113,1 A	9,2 A	110,2 B
	CV%	21,8	22,6	33,5	26,3	68,3	27,1
Dose		*	*	*	*	*	*
Solo		ns	*	*	ns	ns	*
Dose X Solo		*	ns	*	*	ns	*
Forma de Aplicação		ns	ns	ns	ns	*	ns
Média Aplicação via Solo		108,8 a	8,9 a	254,2 a	93,5 a	2,8 b	89,0 a
Média Aplicação via Foliar		128,0 a	9,6 a	323,8 a	111,3 a	9,5 a	90,4 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 8 (Anexo I): Atividade da urease aos 40 e aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	Atividade da Urease 40 DAP ----- μmol NH ₄ ⁺ gmf ⁻¹ h ⁻¹ -----	Atividade da Urease 70 DAP
	0	125,23	91,06
LV	0,5	126,92	173,14
	1,0	148,33	208,50
	2,0	155,59	235,77
	Média LV	139,02 A	177,12 A
LVA	0	18,07	0,62
	0,5	174,74	194,55
	1,0	190,36	261,02
	2,0	197,42	285,75
	Média LVA	145,15 A	185,49 A
	CV%	14,7	18,6
Dose		*	*
Solo		ns	ns
Dose X Solo		*	*
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	Atividade da Urease 40 DAP ----- μmol N MF ⁻¹ h ⁻¹ -----	Atividade da Urease 70 DAP
	0	116,11	98,21
LV	0,25	142,18	250,41
	0,50	175,65	246,81
	1,00	184,11	256,13
	Média LV	154,51 A	212,89 A
LVA	0	0,00	4,20
	0,25	198,29	221,09
	0,50	192,22	260,72
	1,00	244,01	266,87
	Média LVA	158,63 A	188,22 A
	CV%	10,9	17,2
Dose		*	*
Solo		ns	ns
Dose X Solo		*	*
Forma de Aplicação		ns	ns
Média Aplicação via Solo		142,08 a	181,30 a
Média Aplicação via Foliar		156,57 a	200,56 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 9 (Anexo I): Altura das plantas de soja aos 20, 30, 41, 59, 66 e 87 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	20 DAP	30 DAP	41 DAP	59 DAP	66 DAP	87 DAP
		----- cm -----					
LV	0	12,0	22,9	32,5	65,3	66,6	67,3
	0,5	14,4	24,9	36,6	59,8	61,5	62,4
	1,0	15,0	25,4	33,8	63,0	62,8	63,5
	2,0	14,8	26,1	35,6	60,6	61,5	61,9
	Média LV	14,1 A	24,8 A	34,6 A	62,2 A	63,1 A	63,8 A
LVA	0	11,0	19,0	26,0	58,4	61,3	63,8
	0,5	13,1	21,6	29,7	61,4	60,4	63,3
	1,0	13,7	22,1	30,5	60,8	62,3	64,0
	2,0	13,9	21,2	31,0	61,4	63,5	65,8
	Média LVA	12,9 B	20,9 B	29,3 B	60,5 A	61,9 A	64,2 A
	CV%	7,4	6,7	6,8	6,4	6,3	6,3
Dose		*	*	*	ns	ns	ns
Solo		*	*	*	ns	ns	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	20 DAP	30 DAP	41 DAP	59 DAP	66 DAP	87 DAP
		----- cm -----					
LV	0	13,6	25,6	36,9	63,8	65,0	65,4
	0,25	12,9	25,8	36,7	75,0	76,6	76,6
	0,50	10,8	22,4	31,8	66,0	66,1	66,5
	1,00	13,1	24,8	34,3	71,5	73,8	74,1
	Média LV	12,6 A	24,6 A	34,9 A	69,1 A	70,4 A	70,7 A
LVA	0	9,6	17,7	25,1	55,2	56,9	59,5
	0,25	10,3	18,3	28,2	51,7	53,0	55,1
	0,50	13,9	21,5	29,5	59,6	61,0	62,6
	1,00	9,3	18,2	25,7	51,2	53,6	57,5
	Média LVA	10,8 A	18,9 B	27,1 B	54,4 B	56,1 B	58,7 B
	CV%	20,5	13,5	12,3	14,1	13,9	13,1
Dose		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo		ns	*	*	*	*	*
Dose X Solo		*	ns	ns	ns	ns	ns
Forma de Aplicação		*	ns	ns	ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		13,48 a	22,89 a	31,97 a	61,32 a	62,48 a	63,97 a
Média Aplicação via Foliar		11,67 b	21,79 a	31,02 a	61,74 a	63,25 a	64,67 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 10 (Anexo I): Área foliar, massa de matéria verde e seca aos 40 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	Área foliar mm ²	Massa Matéria Verde ----- g -----	Massa Matéria Seca -----
LV	0	734,88	33,75	6,48
	0,5	844,51	35,00	7,09
	1,0	921,29	35,00	6,94
	2,0	864,21	37,50	6,67
	Média LV	841,22 A	35,31 A	6,80 A
LVA	0	365,32	22,50	2,84
	0,5	572,86	21,75	3,34
	1,0	552,32	22,50	3,39
	2,0	508,87	20,00	3,11
	Média LVA	499,84 B	21,69 B	3,17 B
	CV%	13,3	19,8	18,1
Dose		ns	ns	*
Solo		*	*	*
Dose X Solo		*	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	Área foliar mm ²	Massa Matéria Verde ----- g -----	Massa Matéria Seca -----
LV	0	831,23	35,00	6,03
	0,25	866,35	31,25	6,44
	0,50	814,23	35,00	6,09
	1,00	837,01	32,50	5,93
	Média LV	837,21 A	33,44 A	6,12 A
LVA	0	187,87	6,75	0,20
	0,25	395,95	17,50	3,03
	0,50	477,88	18,75	2,77
	1,00	367,44	13,25	1,47
	Média LVA	357,28 B	14,06 B	1,87 B
	CV%	19,2	24,6	26,5
Dose		ns	ns	*
Solo		*	*	*
Dose X Solo		ns	*	*
Forma de Aplicação		ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		670,53 a	28,50 a	4,98 a
Média Aplicação via Foliar		597,25 a	23,75 a	3,99 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 11 (Anexo I): Área foliar, massa de matéria verde (MMV) e seca (MMS), número de trifólios (NT) e de vagens (NV) aos 70 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	Área foliar mm ²	MMV ----- g -----	MMS	NT ----- planta ⁻¹ -----	NV
	0	995,05	50	13,47	9	12
LV	0,5	1047,97	54	15,49	9	13
	1,0	946,22	48	13,13	8	12
	2,0	998,23	56	16,67	9	13
	Média LV	996,86 A	51,88 A	14,69 A	9 A	12 A
	CV%	7,2	9,3	7,4	9,0	13,4
LVA	0	716,88	35	9,16	9	9
	0,5	843,08	35	10,57	8	10
	1,0	758,52	36	11,08	9	12
	2,0	811,55	39	11,71	9	13
	Média LVA	782,51 B	36,25 B	10,63 B	9 A	11 A
Dose		ns	*	*	ns	*
Solo		*	*	*	ns	ns
Dose X Solo		ns	ns	*	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	Área foliar mm ²	MMV ----- g -----	MMS	NT ----- planta ⁻¹ -----	NV
	0	1072,18	54	15,38	9	14
LV	0,25	1103,27	56	15,90	9	13
	0,50	1053,01	48	12,54	9	13
	1,00	1008,82	49	13,38	9	14
	Média LV	1059,32 A	51,75 A	14,30 A	9 A	13 A
	CV%	15,2	11,3	13,6	8,7	19,2
LVA	0	884,95	44	12,85	9	11
	0,25	630,62	32	8,64	9	11
	0,50	713,48	33	9,73	9	10
	1,00	945,10	43	12,54	9	13
	Média LVA	793,54 B	37,63 B	10,94 B	9 A	11 B
Dose		ns	*	*	ns	ns
Solo		*	*	*	ns	*
Dose X Solo		ns	*	*	ns	ns
Forma de Aplicação		ns	ns	ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		889,69 a	44,06 a	12,66 a	8,61 a	11,59 a
Média Aplicação via Foliar		926,43 a	44,69 a	12,62 a	9,03 a	12,30 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 12 (Anexo I): Massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e dos grãos (MMSG), e número de vagens (NV) aos 110 DAP em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos.

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	MMSPA ----- g -----	MMSG ----- g -----	NV planta ⁻¹
	0	7,93	13,13	22
LV	0,5	8,26	12,31	23
	1,0	6,95	11,68	23
	2,0	6,77	11,74	22
	Média LV	7,48 A	12,21 A	23 A
	0	5,83	9,50	22
LVA	0,5	5,57	10,20	24
	1,0	5,07	9,05	22
	2,0	4,58	7,92	21
	Média LVA	5,26 B	9,16 B	22 A
	CV%	14,3	12,9	6,7
Dose		*	ns	*
Solo		*	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	MMSPA ----- g -----	MMSG ----- g -----	NV planta ⁻¹
	0	6,63	12,09	22
LV	0,25	7,92	12,29	22
	0,50	7,62	9,78	22
	1,00	7,58	10,57	23
	Média LV	7,44 A	11,18 A	22 A
	0	4,51	8,24	20
LVA	0,25	4,17	7,09	19
	0,50	4,43	8,26	22
	1,00	4,87	8,11	21
	Média LVA	4,50 B	7,92 B	21 A
	CV%	18,9	25,9	15,9
Dose		ns	ns	ns
Solo		*	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns
Forma de Aplicação		ns	ns	ns
Média Aplicação via Solo		6,37 a	10,69 a	22,36 a
Média Aplicação via Foliar		5,97 a	9,55 a	21,34 a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 13 (Anexo I) : Teor de macronutrientes nos grãos em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	57,0	6,8	27,1	3,5	3,1	3,5
	0,5	58,8	6,7	27,8	3,7	3,0	3,5
	1,0	58,2	6,9	29,4	3,3	2,9	3,5
	2,0	56,9	7,0	29,6	3,7	2,9	3,5
	Média LV	57,7 A	6,9 A	28,3 A	3,5 A	3,0 A	3,5 A
LVA	0	54,8	6,9	26,2	2,9	2,8	2,6
	0,5	52,8	6,7	22,8	2,7	2,8	2,3
	1,0	52,8	7,0	20,7	2,6	2,7	2,5
	2,0	52,8	6,7	22,8	2,7	2,8	2,3
	Média LVA	53,3 B	6,8 A	23,1B	2,7 B	2,7 B	2,4 B
	CV%	13,2	13,4	14,1	18,0	14,9	13,8
Dose		ns	*	*	ns	*	*
Solo		*	ns	*	*	*	*
Dose X Solo		ns	ns	*	ns	ns	*
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S
LV	0	56,8	5,6	22,6	2,9	2,7	2,6
	0,25	56,9	5,4	22,1	2,7	2,7	2,4
	0,50	54,7	5,5	22,3	2,8	2,6	2,4
	1,00	55,9	5,7	22,8	2,9	2,8	2,5
	Média LV	56,1 A	5,5 B	22,4 B	2,8 A	2,7 A	2,5 B
LVA	0	52,8	7,3	28,4	2,8	2,5	2,8
	0,25	51,8	8,0	31,1	2,6	2,5	2,9
	0,50	50,5	7,7	29,8	3,0	2,2	2,9
	1,00	50,8	7,8	29,7	2,8	2,2	2,8
	Média LVA	51,4 B	7,7 A	29,7 A	2,85 A	2,3 B	2,8 A
	CV%	25,1	24,3	25,1	28,5	27,9	24,1
Dose		ns	ns	ns	*	ns	ns
Solo		*	*	*	*	*	*
Dose X Solo		ns	ns	ns	*	ns	ns
Forma de Aplicação		*	ns	ns	ns	*	ns
Média Aplicação via Solo		55,5 a	6,9a	25,7a	3,1a	2,9a	3,0a
Média Aplicação via Foliar		53,8 b	6,7a	26,1 a	2,8a	2,5b	2,7a

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.

Tabela 14 (Anexo I): Teor de micronutrientes nos grãos em função das formas de aplicação e doses de Ni aplicadas em soja cultivada em vasos

Solo	Ni via solo kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	30,0	10,0	81,5	33,2	1,1	52,0
	0,5	28,3	11,1	77,5	31,9	1,4	51,9
	1,0	27,4	9,7	73,1	32,8	1,9	51,3
	2,0	33,1	9,9	73,4	34,6	2,4	50,6
	Média LV	29,7 B	10,2 A	76,4 A	33,2 B	1,7 A	51,5 A
LVA	0	39,6	8,1	74,0	48,5	0,4	51,7
	0,5	36,8	7,3	69,8	47,5	0,8	49,4
	1,0	33,9	7,6	63,8	45,0	1,3	48,4
	2,0	36,8	7,3	69,8	47,5	0,8	49,4
	Média LVA	36,8 A	7,6 B	69,3 A	47,2 A	0,8 B	49,7 A
	CV%	23,6	16,2	15,6	14,3	29,7	12,5
Dose		ns	ns	ns	*	*	ns
Solo		*	*	ns	ns	*	ns
Dose X Solo		ns	ns	ns	ns	ns	ns
Solo	Ni via foliar kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹					
		B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LV	0	41,0	9,1	69,4	27,4	0,8	44,0
	0,25	42,1	8,2	62,0	27,8	5,7	42,3
	0,50	38,0	8,8	59,6	26,8	10,2	41,1
	1,00	42,1	9,1	60,5	27,6	11,7	43,0
	Média LV	40,8 A	8,8 A	62,9 A	27,4 B	7,1 A	42,6 B
LVA	0	29,6	7,3	65,0	39,5	0,4	47,6
	0,25	27,4	8,5	83,6	39,7	2,8	52,4
	0,50	24,3	8,1	64,6	33,5	4,5	43,0
	1,00	23,3	7,7	57,8	34,9	6,5	48,5
	Média LVA	26,2 B	7,9 B	67,7 A	36,9 A	3,6 B	47,9 A
	CV%	27,1	25,5	27,3	27,7	50,8	26,1
Dose		ns	ns	ns	*	*	ns
Solo		*	*	*	ns	*	*
Dose X Solo		ns	ns	*	ns	*	ns
Forma de Aplicação		ns	*	*	*	*	*
Média Aplicação via Solo		33,2 a	8,9 a	72,9 a	40,2 a	1,3 b	50,6 a
Média Aplicação via Foliar		33,5 a	8,4 b	65,3 b	32,2 b	5,3 a	45,2 b

* - efeito significativo ao nível 5% (P<0,05). Médias de solo seguidas por letras maiúsculas diferentes e médias de formas de aplicação seguidas por letras minúsculas diferentes indicam efeito significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey. ns – não significativo.