

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DINÂMICA DO NÍQUEL EM PLANTAS DE SORGO E EM  
SOLO CONTAMINADO POR DIFERENTES FONTES**

**Suelen Cristina Nunes Alves**

Engenheira Agrônoma  
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

JABOTICABAL – SP

**2018**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DINÂMICA DO NÍQUEL EM PLANTAS DE SORGO E EM  
SOLO CONTAMINADO POR DIFERENTES FONTES**

**Suelen Cristina Nunes Alves**

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo**

**Co-orientadora: Prof. Dra. Luciana Maria Saran**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SP

**2018**

Alves, Suelen Cristina Nunes  
A474d Dinâmica do níquel em plantas de sorgo e em solo contaminado  
por diferentes fontes / Suelen Cristina Nunes Alves. -- Jaboticabal,  
2018  
xvii, 98 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: Wanderley José de Melo

Banca examinadora: Celso Antonio Jardim, Fernando Giovannetti  
de Macedo, Marcela Midori Yada, Mara Cristina Pêsoa da Cruz  
Bibliografia

1. Elemento potencialmente tóxico. 2. Atividade microbiológica. 3.  
Atividade enzimática. 4. Biodegradação de plantas. 5. Sorgo granífero  
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:633.17

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DINÂMICA DO NÍQUEL EM PLANTAS DE SORGO E EM SOLO CONTAMINADO POR DIFERENTES FONTES

AUTORA: SUELEN CRISTINA NUNES ALVES

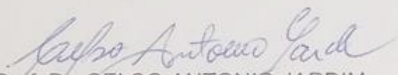
ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO

COORIENTADORA: LUCIANA MARIA SARAN

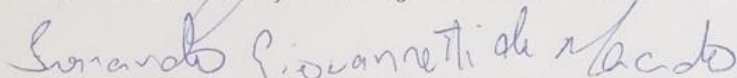
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



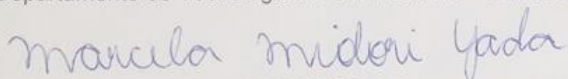
Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO  
Departamento de Tecnologia / FCAV/UNESP - Jaboticabal



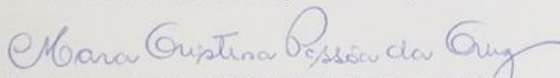
Prof. Dr. CELSO ANTONIO JARDIM  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP



Pós-doutorando FERNANDO GIOVANNETTI DE MACEDO  
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. MARCELA MIDORI YADA  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Taquaritinga/SP



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 04 de abril de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

SUELEN CRISTINA NUNES ALVES - nascida em Ananindeua – PA, no dia 27 de setembro de 1988, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Belém-PA, em fevereiro de 2007, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em agosto de 2011. Durante a graduação foi bolsista pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-UFRA) e bolsista da Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa (FAPESPA). Trabalha na área de uso de resíduos na agricultura, desde 2008. Em março de 2012 iniciou o curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/UNESP), em Jaboticabal – SP. Participou do projeto “RIARTAS” de intercâmbio de pesquisadores entre o Brasil e a Colômbia. Obteve título de mestre em Agronomia (Ciência do Solo) em fevereiro de 2014. Em março do mesmo ano iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na mesma instituição que cursou o mestrado, com título de doutorado previsto para o ano de 2018. Durante a graduação, mestrado e doutorado participou de vários congressos e reuniões científicas nacionais e internacionais, sendo autor/co-autor de diversos trabalhos e de capítulos de livro na área de resíduos na agricultura e na física do solo.

É por isso que nós não perdemos a coragem.

Pelo contrário: embora o nosso físico vá se desfazendo,  
o nosso homem interior vai se renovando a cada dia.

Pois a nossa tribulação momentânea é leve,  
em relação ao peso extraordinário  
da glória eterna que ela nos prepara.

*2 Coríntios 4:16-17*

“A única revolução possível é dentro de nós.”

Mahatma Gandhi

A minha família, irmãos e pais José e Maria sempre presente na minha vida. Sempre cheios de palavras de força e motivação, meu refúgio nos momentos de desesperança.

Ao meu companheiro Guilherme por sua paciência e dedicação para fazer meus dias mais alegres e cheios de amor. Diante do desânimo me deu força para persistir no meu propósito não me deixando desistir.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo sempre, por nunca me deixar perder a fé em momentos difíceis. A ele toda honra e toda glória.

A minha família por sempre apoiar os meus projetos, principalmente ao meu Pai José da Conceição Alves pelo incentivo, exemplo de paternidade, exemplo de homem, minha inspiração para sempre seguir em frente em busca dos meus sonhos.

Ao meu companheiro de vida Guilherme por sempre me apoiar e me dar força em todas as minhas empreitadas.

A CAPES pelo fornecimento da bolsa para implementação do projeto de pesquisa.

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia “Ciência do Solo” da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, pela oportunidade e contribuição científica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wanderley Jose de Melo, pela orientação sempre eficiente e construtiva, e contribuição na minha evolução como pesquisadora.

A minha Co-orientadora Prof. Dr. Luciana Saran, exemplo de mulher batalhadora, obrigada por sempre se fazer presente na minha vida acadêmica, ser minha força dentro da Universidade, pelos conselhos e oportunidades.

Aos membros da Banca Examinadora, pela atenção e, principalmente, pelas críticas e sugestões que contribuíram no enriquecimento deste trabalho.

As amigas-irmãs sempre presentes na minha vida Denise, Roberta, Riviane, Letícia, Thais, Grescy.

Enfim, a todos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Obrigada!



## SUMÁRIO

	página
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE GRÁFICOS.....	xvi
LISTA DE TABELAS.....	xvii
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
Introdução.....	18
Hipótese e objetivos.....	19
Revisão de Literatura .....	20
➤Atividades antrópicas e suas consequências para o meio ambiente: breve histórico.....	20
➤Solo: informações relevantes.....	24
✓ Decomposição de resíduos.....	24
✓ Micro-organismos.....	25
➤Níquel: de elemento potencialmente tóxico a elemento essencial às plantas.....	26
✓ Características do níquel.....	26
✓ Histórico de utilização .....	26
✓ Cenário econômico .....	26
✓ Níquel no solo .....	30
✓ Níquel na planta .....	31
➤Sorgo granífero ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench).....	32

✓ Origem do sorgo .....	32
✓ Aspectos gerais da cultura .....	32
✓ Importância econômica do sorgo .....	34
Referências Bibliográficas .....	36
CAPÍTULO 2. ATIVIDADES BIOLÓGICA E ENZIMÁTICA EM SOLO CONTAMINADO COM NITRATO DE NÍQUEL(II) E ÓXIDO DE NÍQUEL(III) – (experimental).....	
41	41
Introdução .....	43
Material e métodos .....	44
Resultados e discussão .....	53
Conclusões .....	60
Referências bibliográficas .....	61
CAPÍTULO 3. Sorgo granífero cultivado em solo contaminado com diferentes doses de nitrato de níquel (II) e óxido de níquel (III) – (experimento I).....	
64	64
Introdução .....	66
Material e métodos .....	67
Resultados e discussão .....	73
Conclusões .....	79
Referências bibliográficas .....	80
CAPÍTULO 4. INFLUÊNCIA DO NÍQUEL PROVENIENTE DE PLANTAS DE SORGO CONTAMINADAS COM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ E $\text{Ni}_2\text{O}_3$ NAS ATIVIDADES BIOLÓGICAS E ENZIMÁTICAS - (experimento II).....	
83	83
Introdução .....	85
Materiais e métodos.....	86
Resultados e discussão .....	92
Conclusões .....	96
Referências bibliográficas .....	97

## DINÂMICA DO NÍQUEL EM PLANTAS DE SORGO E EM SOLO CONTAMINADO POR DIFERENTES FONTES

**RESUMO** - O níquel (Ni) é um metal de ocorrência natural em rochas magmáticas. Pode ser adicionado ao solo por ações antrópicas, como a agricultura, disposição de resíduos industriais e deposições atmosféricas. Este elemento satisfaz critérios de essencialidade para as plantas, mas é considerado tóxico em altas concentrações. A hipótese deste trabalho é: doses variadas de Ni na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  contribuem para maior absorção de Ni por plantas de sorgo e causam efeitos nas atividades biológicas e enzimáticas do solo. A degradação de plantas de sorgo contaminadas em solo que não foi adicionado  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  não causam efeitos na atividade biológica e enzimática. O experimento foi instalado em casa de vegetação localizada no departamento de Tecnologia da FCAV/UNESP – Jaboticabal. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O experimento foi conduzido em duas etapas. A primeira etapa diz respeito ao desenvolvimento de plantas de sorgo em solo contaminado por  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . O delineamento experimental foi o fatorial  $2 \times 3 + 1$ . Nessa etapa foram testadas 2 fontes de Ni [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ] em 3 doses, com 3 repetições, mais um tratamento controle com adubação mineral sem níquel. As doses de Ni foram 35, 70 e 140  $\text{mg kg}^{-1}$  solo. Nesta etapa foram realizadas análises de Ni pseudototal e extraível, Ni nas folhas diagnose, planta inteira e grãos, assim como, quantificação do carbono na biomassa microbiana, respiração basal do solo, hidrólise do diacetato de fluoresceína e cálculo de quociente metabólico, além da produtividade da cultura. A contaminação do solo com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  influencia as atividades biológica e enzimática, pois provocou estresse na comunidade microbiana. O  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  ocasionou maior absorção de Ni na planta e a absorção dos elementos Cu, Zn, Mn e Mg também foi influenciada pelo Ni no solo. A produtividade foi menor no tratamento com plantas contaminadas. A segunda etapa foi desenvolvida em delineamento experimental inteiramente casualizado, em que foi avaliada a liberação de Ni pela biodegradação das plantas de sorgo, e sua influência do Ni nas atividades biológica e enzimática do solo no decorrer do tempo, com 4 tratamentos e 5 repetições. Foram adotados os tratamentos, todos com o mesmo solo: controle absoluto sem plantas (CABS), controle com plantas não contaminadas com Ni (CONT), plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  (NN) e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  (OX). Foram realizadas amostragens aos 0, 15, 30, 60 e 120 dias após a instalação do experimento, para verificar as mudanças no decorrer do tempo. Foram analisados o níquel extraível, o carbono na biomassa microbiana e a hidrólise do diacetato de fluoresceína.

**Palavras-chave:** elemento potencialmente tóxico, atividade microbiológica, atividade enzimática, biodegradação de plantas, sorgo granífero

## NICKEL DYNAMICS IN SORGHUM PLANTS AND SOIL CONTAMINATED BY DIFERENT SOURCES

**SUMMARY** - nickel (Ni) is a naturally occurring metal in magmatic rocks. Can be added to the soil by anthropogenic actions, such as agriculture, industrial waste disposal and atmospheric deposition. This element satisfies criteria for essentiality to the plants, but is considered toxic at high concentrations. The hypothesis of this paper is: varied doses of Ni in the form of  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  contribute to greater absorption of Ni for sorghum plants and cause effects on biological and enzyme activity of soil. The degradation of sorghum plants contaminated in soil that has not been added  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  do not cause effects on biological and enzyme activity. The experiment was installed in greenhouse located in the Department of technology of UNESP/FCAV-Jaboticabal. The soil used was Red Latosol distrófic (LVd). The experiment was conducted in two stages. The first stage concerns the development of sorghum plants in contaminated soil by  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . The experimental design was factorial  $2 \times 3 + 1$ . In this step 2 Ni sources were tested [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ] into 3 doses, with 3 replications, more control treatment with mineral fertilization without nickel. The doses of Ni were 35, 70 and 140 mg  $\text{kg}^{-1}$  soil. Analyses were performed at pseudototal and extractable Ni, Ni on diagnosis, entire plant and grain, as well as quantification of microbial biomass carbon, soil basal respiration, hydrolysis of fluorescein diacetate and calculation of Metabolic Quotient, in addition to the productivity of the crop. Soil contamination with  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  influences the biological and enzymatic activities, because it caused stress on microbial community. The  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  caused increased absorption of Ni in the plant and the absorption of the elements Cu, Zn, Mn and Mg was also influenced by Ni in soil. Productivity was lower in the treatment with contaminated plants. The second step was developed in completely randomized experimental design, in which it was evaluated the release of Ni by the biodegradation of sorghum plants, and your influence of biological and enzymatic activities Ni of the soil over time, with 4 treatments and 5 repetitions. The treatments were adopted, all with the same soil: absolute control without plants (CABS), with control plants contaminated with Ni (CONT), contaminated plants with  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  (NN) and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  (OX). Samplings were carried out at 0, 15, 30, 60 and 120 days after installation of the experiment, to check the changes over time. We analyzed the extractable nickel, carbon in microbial biomass and fluorescein diacetate hydrolysis.

**Keywords** : potentially toxic element, microbiological activity, enzyme activity, biodegradation, sorghum granífero

## LISTA DE ABREVIATURAS

BM – biomassa microbiana

CABS – Controle absoluto sem plantas de sorgo

CBM – carbono na biomassa microbiana

CONT – controle com plantas não contaminadas

CONAB – companhia nacional de abastecimento

Cu – cobre

CV – coeficiente de variação

DMS – diferença mínima significativa

DNPM – departamento nacional de produção mineral

FDA – hidrólise do diacetato de fluoresceína

kg - kilograma

mg - miligrama

Mg – magnésio

Mn – manganês

Ni - níquel

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  – nitrato de níquel(II)

$\text{Ni}_2\text{O}_3$  – óxido de níquel(III)

NN – nitrato de níquel(II)

OX – óxido de níquel(III)

$q\text{CO}_2$  – quociente metabólico

RBS – respiração basal do solo

Zn - zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Tripé da sustentabilidade. ....	23
Figura 1.2. Principais reservas de minerais no Brasil.....	29
Figura 1.3. Importadores de Ni.....	30
Figura 2.1. Casa de vegetação localizada na FCAV-UNESP câmpus de Jaboticabal. ....	45
Figura 2.2. planta de sorgo em fase de panícula. ....	46
Figura 2.3. (A) sementes de Sorgo BRS 330; (B, C e D) desenvolvimento de sementes postas a germinação.....	47
Figura 2.4. (A) Plantio de sorgo, com mudas previamente produzidas; (B). pesagem periódica para manter a umidade; (C) Adubação de cobertura em plantas de sorgo.....	49
Figura 2.5. 1 – 8. Análise de Biomassa microbiana. ....	51
Figura 2.6. Processo de análise de respiração do solo.....	52
Figura 2.7. Processo de análise de Hídrolise do diacetato de fluoresceína.....	53
Figura 3.1. planta de sorgo em fase de panícula .....	70
Figura 3.2. A: sementes de Sorgo BRS 330; B, C e D: desenvolvimento de sementes: plantio à germinação.....	70
Figura 3.3. A. Plantio de sorgo, com mudas previamente produzidas; B. pesagem periódica para manter a umidade; C. Adubação de cobertura em plantas de sorgo.....	71

Figura 3.4. Plantas com 15 cm (A) foram cortadas e depositadas na superfície do solo (B).....	71
Figura 3.5. Moinho tipo wiley.....	72
Figura 4.1. Experimento II montado e, delineamento inteiramente casualizado. ....	88
Figura 4.2. (A) material vegetal triturado do experimento I; (B) 1-2. Procedimento de homogeneização (matéria vegetal + solo); (C) Solo homogeneizado devolvido ao vaso. ....	88
Figura 4.3. (A) Trado improvisado; (B) procedimento de coleta de solo. ....	90
Figura 4.4. Procedimento de análise do Carbono da biomassa microbiana.. ..	91
Figura 4.5. procedimento de análise da hidrólise do diacetato de fluoresceína.....	92

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1. Distribuição de reservas de Ni em nível mundial.....	28
GRÁFICO 1.2. Produção de níquel em nível mundial.....	30
GRÁFICO 1.3. Produção mundial de sorgo .....	35
GRÁFICO 1.4. Produção estimada de cada região brasileira.....	35
GRÁFICO 2.1. Correlação hidrólise do diacetato de fluoresceína com níquel extraível no solo ao qual foi adicionado $Ni_2O_3$ .....	59
GRÁFICO 3.1. Produtividade do sorgo com aplicação de duas fontes de Ni....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Concentrações de níquel pseudototal e extraível no solo contaminado com $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .....	54
Tabela 2.2. Atividade biológica e enzimática em Latossolo contaminado com $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .....	55
Tabela 2.3. Valores médios da interação significativa entre as fontes de Ni e doses de níquel da análise de variância referente a atividade biológica e enzimática em Latossolo contaminado com Ni.....	57
Tabela 3.1. Concentrações de níquel no solo e plantas contaminado com $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .....	75
Tabela 3.2. Análise química da folha diagnose cultivada em solo contaminado por $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .....	76
Tabela 3.3. Análise referente aos elementos Ni, Cu, Zn, Mn e Mg e produtividade da planta de sorgo cultivada em solo contaminado por $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .....	77
Tabela 4.1. Níquel extraível e atividade biológica/enzimática em solo com plantas de sorgo contaminadas com $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ em diferentes períodos de amostragem.....	93
Tabela 4.2. Desdobramento da interação de tratamentos com degradação de plantas x época de amostragem e seus efeitos.....	94
Tabela 4.3. Desdobramento da interação de tratamentos de época de amostragem x degradação de plantas e seus efeitos.....	95

## CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

### Introdução

O níquel (Ni) tem como principal origem geoquímica as rochas magmáticas que podem conter até  $3600 \text{ mg kg}^{-1}$  do elemento. Sua concentração na crosta terrestre é, em média, 0,018% (MATIAZZO-PREZOTTO, 1994). Além disso, pode ser incorporado ao solo através de ações antrópicas como a agricultura, disposição de resíduos industriais e deposições atmosféricas (REIS, 2002; UGARTE et al., 2015).

O níquel satisfaz os critérios de essencialidade para as plantas, o que o caracteriza como micronutriente, apesar do seu potencial tóxico (MALAVOLTA, 1994). É o constituinte da metaloenzima urease que desdobra a ureia em amônia e dióxido de carbono, além de participar do processo de fixação biológica de nitrogênio (RODAK et al., 2013). Além disso o  $\text{Ni}^{2+}$  é exigido na ativação da enzima glioxalase I, que auxilia as plantas fazendo a desintoxicação do metabólito metilglioxal que é produzido em condições de estresse, transformando-o em D-lactato que não traz prejuízos às células (TEZOTTO, 2015).

O Ni é um dos metais que ocorre em altas concentrações nos bio sólidos brasileiros, o que pode limitar a utilização do resíduo (ROVEDA et al., 2014). A fitodisponibilidade do Ni é influenciada por diversos fatores, entre eles estão o pH do solo e o teor de carbono orgânico (MATIAZZO-PREZOTTO, 1994; MELLIS, 2006). Os cátions metálicos, incluindo  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$ , tendem a estabelecer ligações químicas do tipo covalente para a formação de complexos e precipitados insolúveis, por exemplo, com ligantes inorgânicos como o  $\text{Cl}^-$  e o  $\text{S}^{2-}$ , e com sítios de adsorção dos minerais que podem formar ligações covalentes (SOARES, 2004), se tornando menos disponíveis no solo.

Na forma solúvel, o Ni é prontamente absorvido pelas raízes e sua mobilidade na planta irá depender da espécie vegetal (SAUERBECK; HEIN, 1991),

assim como, das propriedades do solo como o pH (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1984). No solo, o Ni é móvel quando na sua forma iônica, principalmente em solos ácidos, sendo adsorvido fracamente pela argila e matéria orgânica (ENVIRONMENT AGENCY, 2002). Em solução aquosa, o níquel apresenta estado de oxidação  $Ni^{2+}$  como mais importante, e reações de oxidação de  $Ni^{2+}$  para  $Ni^{3+}$  são pouco comuns (SOUZA, 2018).

O Ni desempenha diversas funções nos sistemas biológicos, desde em plantas, até nos animais e no homem. Em comparação com outros metais como ferro, cobre e zinco, a ocorrência de níquel é inferior nesses sistemas, porém não menos importante e, por esse motivo, o estudo bioquímico do níquel e suas interações tem grande relevância (NAKAGAKI et al., 2006). Ainda, o Ni participa do metabolismo de micro-organismos, plantas e animais (HAUSINGER, 1993).

É de vital importância o aprofundamento no estudo do metal Ni, suas características, formas, dinâmica no solo e em plantas, além da sua influência no meio ambiente, visto que, em decorrência de atividades antropogênicas, este metal se torna cada vez mais comum no meio onde vivemos.

#### Hipótese e objetivos

O níquel é um elemento considerado nutriente e metal pesado por suas características e efeitos sobre as plantas. Suas características na planta e no solo são pouco elucidadas e portanto merecem atenção, devido a importância que o níquel tem exercido na nutrição de plantas. Por outro lado, é importante entender os efeitos nocivos que podem ser causados pelo excesso de níquel. Portanto a hipótese deste estudo é que o níquel em doses elevadas causam efeitos na atividade biológica e enzimática do solo. Além disso, quanto maior a dose adicionada ao solo, maior a absorção de Ni pelas plantas. Outra hipótese, é que o Ni absorvido pelas plantas de sorgo cultivadas em solo contaminado com  $Ni(NO_3)_2$  e  $Ni_2O_3$ , não causam efeitos na atividade biológica e enzimática após a decomposição das mesmas em solo sem adição de níquel.

#### Objetivo geral

Avaliar a absorção de Ni em plantas de sorgo cultivadas em solo contaminado com compostos inorgânicos de Ni, assim como avaliar a atividade biológica e enzimática. Avaliar a reincorporação do metal no solo através da decomposição de plantas de sorgo contaminadas com níquel.

#### Objetivos específicos

- ✚ Avaliar a absorção de Ni em plantas de sorgo cultivadas em solo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .

- ✚ Verificar a fitodisponibilidade do Ni no solo.

- ✚ Avaliar a influência do Ni nas atividades biológica através do carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e quociente metabólico e atividade enzimática hidrólise do diacetato de fluoresceína.

- ✚ Avaliar a interferência do Ni na disponibilidade de elementos Cu, Zn, Mn, e Mg às plantas de sorgo, bem como sua toxicidade.

- ✚ Avaliar a biodegradação dos restos vegetais de sorgo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , bem como a liberação de Ni no solo.

- ✚ Avaliar a interferência das fontes de Ni na atividade enzimática do solo.

- ✚ Avaliar a influência do Ni na atividade enzimática em diferentes períodos de tempo após adicionar plantas de sorgo trituradas, que foram cultivadas em solo contaminado com Ni.

#### Revisão de Literatura

- Atividades antrópicas e suas consequências para o meio ambiente: breve histórico

Desde os primórdios da vida na terra o homem utilizou os recursos do ambiente para sobrevivência. Porém, a intensificação do uso deste recurso e seu conseqüente desgaste foram acentuados com o início da revolução industrial, em meados do século XVIII, em virtude das emissões geradas pelas ações antropogênicas relacionadas ao advento da indústria.

Segundo Ribeiro et al. (2014), neste período de intensa industrialização das grandes cidades, o autor Luke Howard escreveu o 1º manual de climatologia urbana em 1818, que foi seguido pela sua 2º edição, mostrando

como consequência da industrialização, a poluição do ar gerada pelas indústrias emergentes, que contribuiu para o aumento de óbitos observado neste período.

Nesse sentido, vários eventos de cunho ambiental, que buscavam a sustentabilidade, foram promovidos com o intuito de proteger o meio ambiente. Em 1972 aconteceu a conferência de Estocolmo na Suécia que foi um evento das Nações Unidas que visava preservar e melhorar o meio ambiente. Segue breve trecho da Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente (Estocolmo, 1972):

Chegamos a um ponto na História em que devemos moldar nossas ações em todo o mundo, com maior atenção para as consequências ambientais. Através da ignorância ou da indiferença podemos causar danos maciços e irreversíveis ao meio ambiente, do qual nossa vida e bem-estar dependem. Por outro lado, através do maior conhecimento e de ações mais sábias, podemos conquistar uma vida melhor para nós e para a posteridade, com um meio ambiente em sintonia com as necessidades e esperanças humanas...

Em 1984 a ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland encomendou um estudo sobre as perspectivas do meio ambiente que resultou no documento intitulado “Nosso futuro comum” ou “Informe de Brundtland”, que reconhecia as disparidades entre os países desenvolvidos e os considerados de terceiro mundo, seus desafios e necessidades (SPINELLI et al., 2016).

Em 1988 o desenvolvimento sustentável passou a ser definido pela Conferência Mundial de Meio Ambiente como: “um processo que permite satisfazer as necessidades da população atual sem comprometer a capacidade de atender às gerações futuras” (CMMAD, 1988).

Em 1992 ocorreu a Eco-92 no Rio de Janeiro que consolidou o termo “sustentabilidade” e associou desenvolvimento sustentável com desenvolvimento econômico formando hipóteses abrangentes (SPINELLI et al., 2016). Depois disso foi lançada a agenda 21 brasileira, que foi outorgada por decreto presidencial. Este documento foi baseado na agenda 21 global,

tratando de temas de cunho sustentável e afins. Os estados e municípios passaram a adequar suas agendas de acordo com suas necessidades (SPINELLI et al., 2016).

Outras conferências foram realizadas com o intuito de continuar essa discussão acerca da sustentabilidade, debatendo sobre as consequências para o meio ambiente. A exemplo tem-se: conferência de Genebra, na Suíça (1990); de Berlim, na Alemanha (1995) e de Kyoto, no Japão (1997) entre outras. A última conferência no Brasil foi em 2012 na cidade do Rio de Janeiro, a RIO+20.

O debate sobre esse tema não finda, pois é imprescindível a adoção de práticas para preservar o meio ambiente. Para tanto, os projetos sustentáveis necessitam se edificar no tripé da sustentabilidade “triple bottom line” criado por John Elkington.

O tripé da sustentabilidade diz respeito aos critérios, para que se atinja a sustentabilidade de forma equilibrada, no qual se tenha um objetivo economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente sustentável, como mostra a FIGURA 1.1.

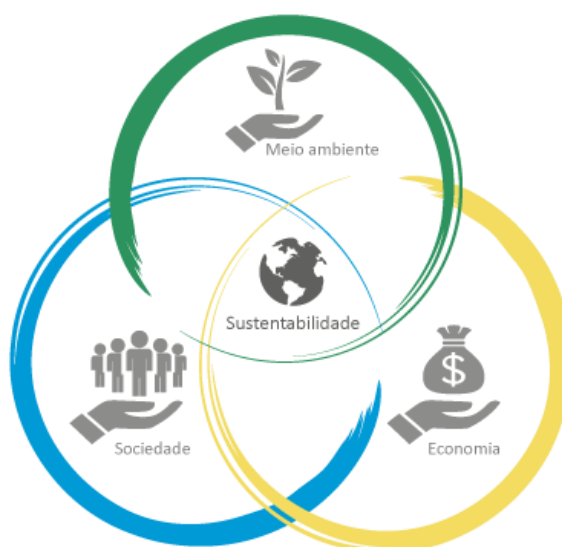


Figura 1.1. Tripé da sustentabilidade. Fonte da imagem: <http://www.cert.org.br/pt/cev-servicos>.

Esse tripé viabiliza projetos para que tenham equilíbrio econômico, social e ambiental para atingir a sustentabilidade, pois é baseado em conciliar desejos com necessidades.

Assim, o desgaste do meio ambiente pode ser evitado, contribuindo para que as próximas gerações possam usufruir de um ambiente preservado. As emissões de gases, o desmatamento, o uso dos recursos naturais de forma indiscriminada, a poluição do ar, a contaminação dos solos e etc, podem ocasionar um colapso que afetará a vida na terra. Logo, a preservação e conservação dos nossos recursos naturais são necessárias.

Utilizando a terceira lei de Newton também designada “Princípio da ação – reação”, que diz: “para toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade”, de fato isso acontece, a ação do homem sobre o meio ambiente promoverá diversas consequências negativas.

Várias medidas foram tomadas para controlar a ação do homem sobre o meio ambiente. Como exemplo, é possível citar a criação da resolução 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), como meio de promover a regularização de áreas contaminadas, que (BRASIL, 2009):

Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

A partir desta resolução vários trabalhos de pesquisa se propuseram a avaliar a qualidade de solos e água, em diversos pontos estratégicos, como solos agricultáveis, solos próximos às rodovias e solo de áreas de conservação, entre outros. A resolução 420 do CONAMA deu base para se verificar a concentração de metais pesados no meio ambiente.

A reflexão sobre as possíveis consequências das ações antrópicas no ambiente e seu reflexo na sociedade é indispensável, sendo vital a criação de ambientes sustentáveis com práticas que possam promover a utilização dos recursos naturais pelas gerações futuras.

➤ Solo: informações relevantes

O solo é um recurso natural utilizado pelo homem, ou seja, é um compartimento da natureza utilizado para atender às necessidades das pessoas. Este recurso ocupa grande parte do globo, suporta a vida vegetal e animal, é utilizado como habitat pelo homem e animais e para produção de alimentos (COELHO et al., 2013; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O solo é formado pela intemperização de rochas e sua composição varia conforme o material de origem. É constituído de ar, água, material mineral e orgânico, além de organismos vivos (COELHO et al., 2013).

A formação do solo não depende somente da decomposição da rocha, mas sim, de um conjunto de fatores que são responsáveis pelos diferentes tipos de solos existentes. A rocha é reduzida de tamanho pela ação do clima no decorrer do tempo, promovendo adições, perdas, transportes e transformações que dão origem ao solo nos mais diferentes relevos (COELHO et al., 2013).

Segundo Moreira et al. (2013), o solo é considerado um ecossistema, pois nele é possível observar fatores bióticos e abióticos atuando simultaneamente e em equilíbrio. Nele ocorrem processos biológicos importantes, como: decomposição de material orgânico, ciclagem de nutrientes, produção de metabólitos e controle biológico, além da produção de alimentos.

O solo apresenta as seguintes funções no ambiente: sustentar o crescimento das plantas como suporte mecânico, fornece água e nutrientes; regula o fluxo de água que impermeabiliza através dos poros; cicla os nutrientes; serve como habitat de muitas formas de vida; fornece material e fundação para construção de moradias, entre outras (COELHO et al, 2013).

Uma característica importante é a capacidade que o solo tem de funcionar como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração e imobilização de grande parte das impurezas que o atinge. Porém, esta capacidade é limitada, pois, o efeito cumulativo da inserção de poluentes no solo pode alterar a sua qualidade, o que afetará também a qualidade da água subterrânea, que está intimamente ligada a ele (BRASIL, 2001).

✓ Decomposição de resíduos



A decomposição é uma maneira de transformar o material orgânico. É a ação dos fatores bióticos e abióticos sobre o material orgânico, que ao final desse processo, se caracteriza por um resíduo estabilizado química e biologicamente, que é comumente chamado de húmus. Segundo Carvalho et al. (2008a):

As transformações que ocorrem no processo de decomposição são primeiramente a biodegradação rápida da maioria dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos, continuando a partir deste ponto com o ataque dos compostos estruturais, com redução lenta de hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas que podem perdurar por anos, dependendo da natureza do material e da presença dos grupos especializados de micro-organismos

Na decomposição ocorre a ciclagem de nutrientes, ou seja, os nutrientes voltam ao solo. A velocidade desse processo depende do material que irá decompor, pois a relação carbono/nitrogênio (C/N) do material é a principal controladora da velocidade de decomposição, além dos teores de polifenóis e lignina presentes nos materiais orgânicos. Resíduos com relação C/N maior que 25 demoram mais para se decompor, enquanto resíduos com relação C/N menor que 25 decompõem-se mais rapidamente (CARVALHO et al., 2008b; MATIAS, 2013;).

#### ✓ Micro-organismos

Os micro-organismos desempenham papéis fundamentais para a sustentabilidade dos ecossistemas, eles são responsáveis pela decomposição dos resíduos e da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e remoção de toxinas. Além disso são importantes na supressão de doenças causadas por outros micro-organismos, promovem o crescimento de plantas, contribuem para a fertilidade e a estrutura do solo (PFERNNING, 2013).

Os micro-organismos são considerados indicadores de qualidade do solo por meio da mensuração da biomassa, respiração microbiana e atividade de enzimas, como a urease, a arilsulfatase e a celulase, que estão intimamente

ligadas aos micro-organismos (MOREIRA et al., 2013). Além disso, são bastante sensíveis às mudanças no manejo do solo, podendo ser utilizados para se verificar a interferência antrópica na qualidade do solo.

➤ Níquel: de elemento potencialmente tóxico a elemento essencial às plantas

✓ Características do níquel

O níquel é um metal de transição de coloração branco-prateado, condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável. Apresenta resistência à corrosão. Sua utilização se dá na forma pura para a proteção de peças metálicas devido à sua alta resistência de oxidação (SILVA, 2017).

Segundo Votorantim (2014), o níquel é largamente utilizado na galvanoplastia, na produção de super ligas e ligas não ferrosas, além de seus subprodutos serem utilizados para diversos fins, como a produção de ferramentas de corte, de baterias, de fertilizantes e ração animal. O níquel também se faz presente em indústrias de cerâmica, na indústria têxtil, na de sabão e detergentes, de vidros e na indústria de papel e celulose.

✓ Histórico de utilização

A utilização do níquel remonta a tempos antigos, e segundo Silva (2017), seu nome deriva de “kupfernickel” (diabo do cobre), dado pelos alemães no século XVII, por se mesclar ao cobre e ser de difícil remoção. Porém, há indícios de utilização para a fabricação de moedas pelos japoneses, há 800 anos, e por gregos, há 300 anos a. C. Acredita-se que tais moedas continham níquel associado com cobre. Além de moedas, o níquel foi utilizado para a confecção de armas (300 ou 400 anos a. C.).

O níquel não teve muita importância na economia industrial até meados de 1820, quando Michael Faraday e Stodard fizeram uma liga sintética de ferro-níquel, que teve grande relevância para o desenvolvimento industrial. Após este acontecimento, a Alemanha (1838) produziu o primeiro níquel metálico refinado e em 1902 foi formada a International Nickel Co. of Canadá Ltd., principal produtora do distrito de Sudbury (SILVA, 2017), sendo, portanto, bastante utilizado no ramo industrial a partir deste período.

✓ Cenário econômico

O níquel é primariamente comercializado na forma de metal refinado (catodo, pó, briquete, etc) ou ferro-níquel. Segundo a United States Geological Survey - USGS (2017), a maior parte do minério de níquel é proveniente de dois tipos de depósitos de minério:

1. Lateritas, nos quais os minerais principais são limonita niquelífero  $[(Fe,Ni)O(OH)]$  e garnierita (um silicato de níquel hidratado);
2. Depósitos de sulfeto magmáticos, nos quais o mineral principal é pentlandita  $[(FeNi)_9S_8]$ .

Os depósitos de sulfeto de níquel são geralmente associados a rochas ricas em ferro e magnésio chamadas ultramáficas e podem ser encontrados em configurações vulcânicas. Muitos dos depósitos de sulfeto ocorrem em grande profundidade.

As lateritas são formadas pelo intemperismo das rochas ultramáficas e são um fenômeno próximo da superfície. Acredita-se que a maior parte do níquel na Terra está concentrada no núcleo do planeta (USGS, 2017). Formando portanto as reservas minerais superficiais e profundas de níquel.

No Brasil existem várias reservas minerais, sendo algumas, fontes de níquel. Tais reservas estão situadas nos estados de Goiás, Bahia, Pará, Minas Gerais e Mato Grosso (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2016).

As substâncias metálicas têm grande relevância no cenário econômico brasileiro. A produção mineral de substâncias da classe de metálicos foi responsável por 76% do valor total da produção mineral comercializada no Brasil. As oito substâncias que têm real destaque na economia são: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro. O valor de comercialização destes metais foi de 67,5 milhões de reais, com o níquel representando 4,7% deste total (BRASIL-DNPM, 2016).

As reservas apresentadas na Figura 1.2 constituem as principais reservas relatadas em relatórios anuais de lavra, relatórios de reavaliação e relatórios finais aprovados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, podendo ter outros municípios com reserva de níquel no território nacional.

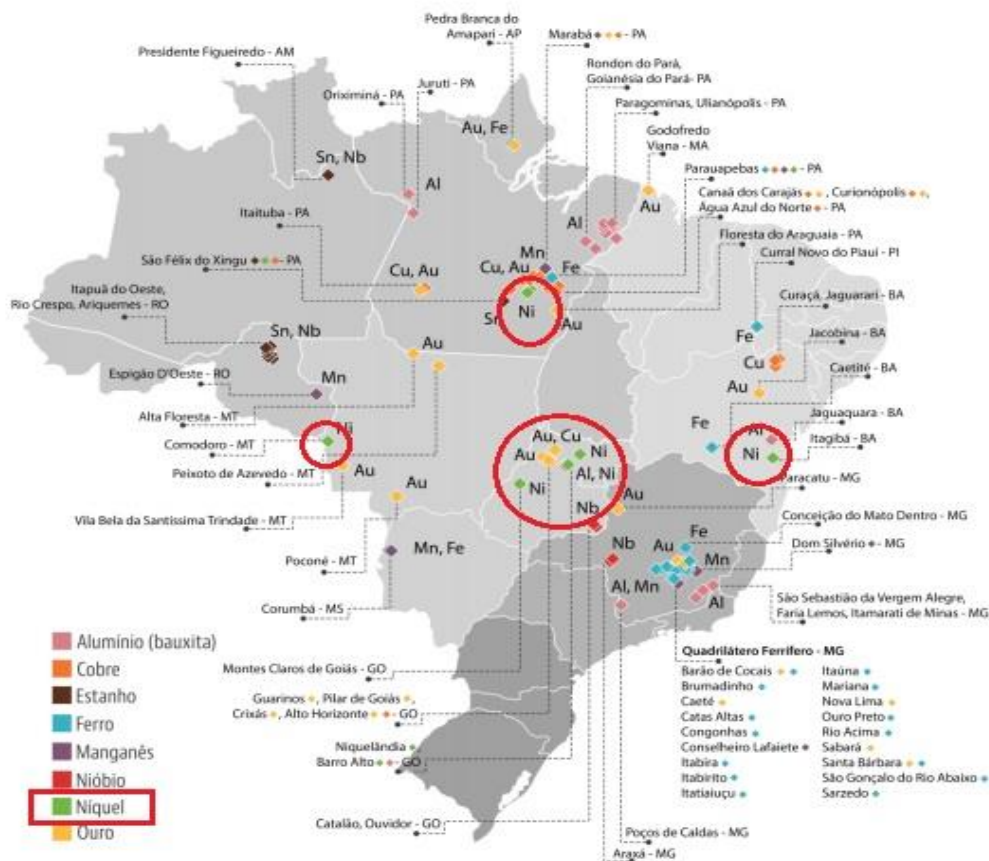


Figura 1.2. Principais reservas de minerais no Brasil. \*Os círculos mostram os pontos onde ocorrem reservas de níquel. Fonte Brasil/DNPM, (2016).

Além do Brasil, há ocorrência natural de níquel em outros locais do globo terrestre, como pode ser visualizado no gráfico 1.1.

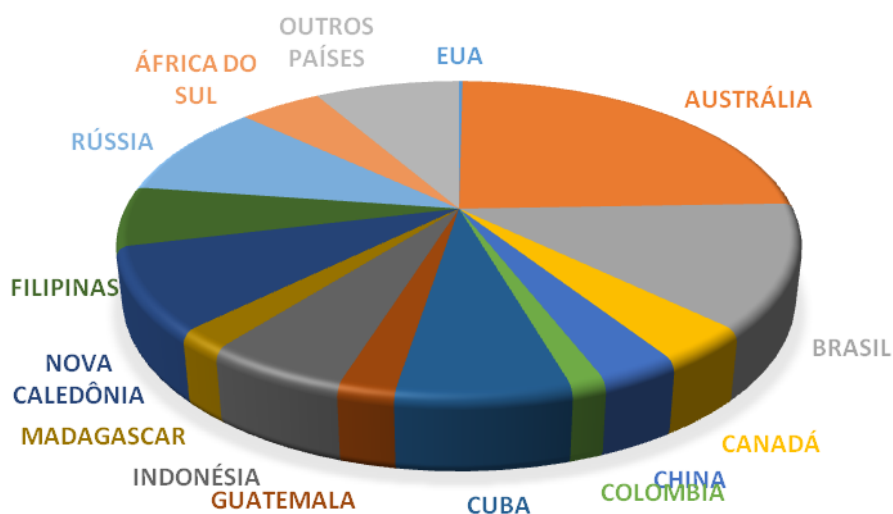


Gráfico 1.1. Distribuição de reservas de Ni em nível mundial. Fonte: SCHNEBELE (2017) - Minerals Yearbook. imagem autoral.

A produção bruta de níquel por ano, sem o beneficiamento, chega a 16.001.454 t, sendo de 55%, 38%, 6,3% e 0,31% referentes aos estados de GO, BA, PA e MG, respectivamente. Dentre as empresas produtoras de Ni estão: a Anglo American Níquel Brasil Ltda, Vale S. A., Votorantim Metais S. A. e Mirabela Mineração do Brasil Ltda (Departamento Nacional de Produção Mineral, 2016).

Os principais países que importam níquel do Brasil são: Estados Unidos da América, Países baixos, China e Japão (Figura 1.3). O Brasil é fonte de exportação (3,4% de Ni) para vários países, logo, o Ni tem grande importância no que diz respeito à economia do País, contribuindo com o seu comércio internacional. Em nível mundial, a produção de níquel tem peso significativo.

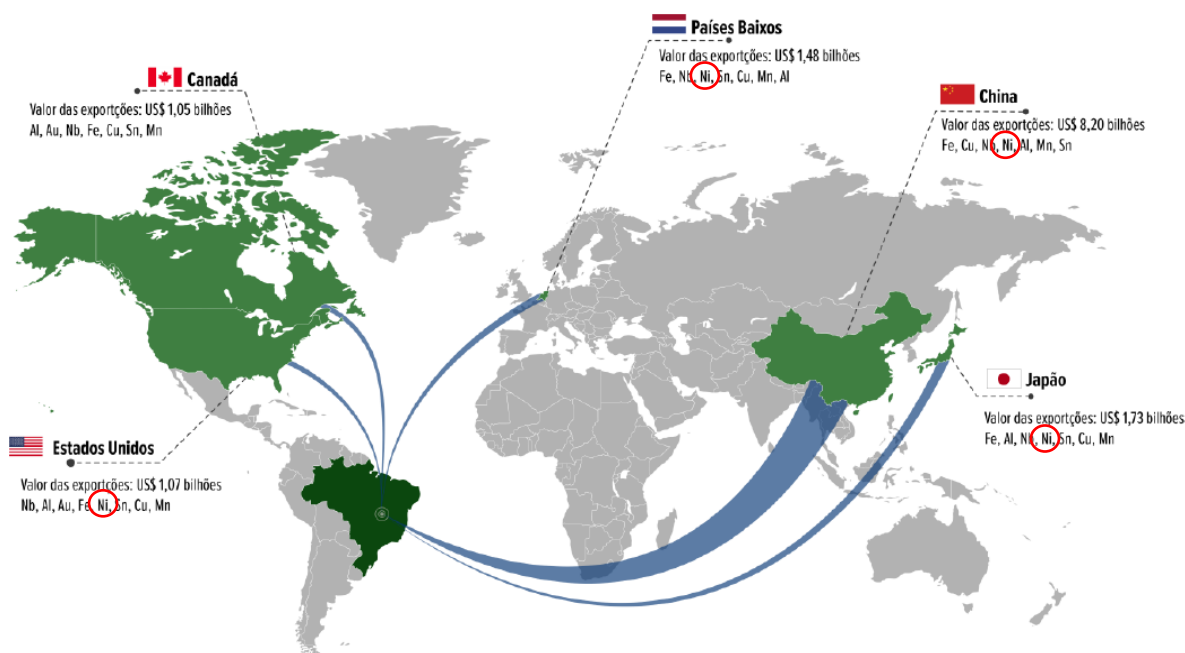


Figura 1.3. Importadores de Ni. Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral, (2016).

Sua produção consiste em extração e beneficiamento através do processo de: britagem, moagem, homogeneização, forno de redução metálica, lixiviação amoniacal e precipitação que resulta no produto para a venda chamado carbonato de níquel (VOTORANTIM METAIS, 2014).

Vários países produzem e beneficiam esse minério, como mostra o Gráfico 1.2, configurando assim a importância do níquel em nível nacional e principalmente internacional.

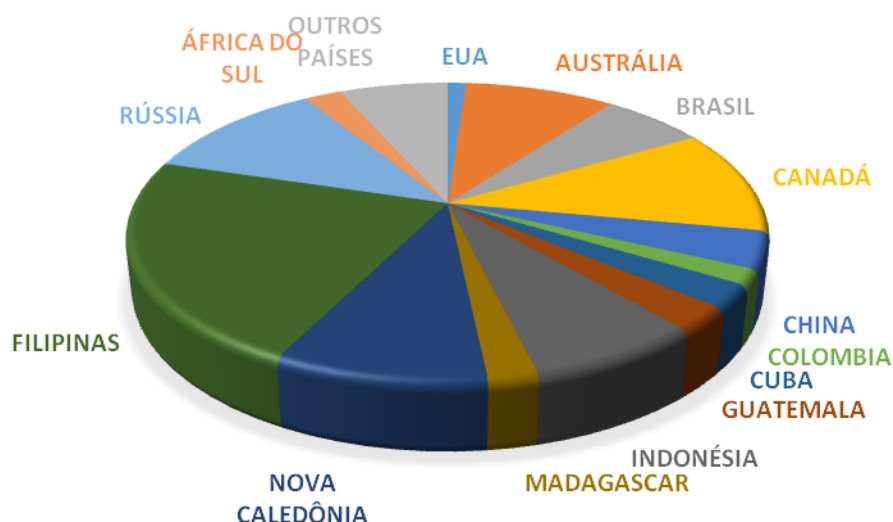


Gráfico 1.2. Produção de Ni em nível mundial. Fonte: SCHNEBELE (2017) - Minerals Yearbook. imagem autoral.

#### ✓ Níquel no solo

Além da sua ocorrência natural a partir de rochas magmáticas, nas quais tem-se até  $3.600 \text{ mg kg}^{-1}$  Ni (REIS, 2002), o níquel pode ser adicionado ao solo em decorrência das ações antrópicas como a agricultura, disposição de resíduos industriais, queima de combustíveis fósseis e deposições atmosféricas (ROVEDA et al., 2014; UGARTE et al., 2015).

Na agricultura, o níquel pode ser inserido pela utilização de resíduos orgânicos como o lodo de esgoto (LE) (ROVEDA et al., 2014). No LE o níquel aparece em maiores quantidades em resíduos de regiões mais industrializadas, principalmente de indústrias que o utilizam em ligas metálicas, baterias, componentes eletrônicos e catalisadores (BERTONCINI, 2002; MACGRANTH, 1995), assim como em tintas de hidrogenação de óleos e recobrimento de superfícies metálicas por eletrólise (ASTDR, 2005). O Ni também pode ser introduzido no solo pela aplicação de adubos fosfatados e calcário, que podem apresentar até  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  Ni (REIS, 2002).

No solo o  $\text{Ni}^{2+}$  compete com a absorção de outros cátions como o  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  nas plantas (MARENCO; LOPES, 2013). Tais cátions apresentam características químicas similares como valência e raio iônico hidratado, o que permite que os elementos se substituam uns aos outros nas redes cristalinas

de alguns silicatos e óxidos, ou em sítios ativos de absorção nas plantas (REIS et al., 2014; USGS 2017).

Segundo Silva (2016), a disponibilidade de níquel para as plantas é regulada principalmente pelas reações no solo (adsorção, por exemplo), que são dependentes de diversos fatores, como: umidade, pH, CTC, teor de argila, óxidos e matéria orgânica no perfil, superfície específica e condições de oxirredução, além da adição de fertilizantes e a absorção pelas plantas.

Na fase solúvel o pH é o fator mais relevante, pois a disponibilidade do níquel é inversamente proporcional a esta propriedade, ou seja, solos com pH menor que 5,5 disponibilizam mais níquel. Por outro lado, a matéria orgânica diminui a quantidade de Ni extraível devido a formação de quelatos orgânicos (SILVA, 2016).

#### ✓ Níquel na planta

Por muito tempo o níquel foi considerado um metal pesado com características tóxicas para as plantas. Entretanto, atualmente este elemento é considerado essencial às plantas por ser parte constituinte da metaloenzima urease, sendo diretamente relacionado ao metabolismo do nitrogênio nas plantas (MARENCO; LOPES, 2013; SILVA, 2016). O Ni pode incrementar a produção da lavoura e diminuir a ocorrência de doenças como a ferrugem asiática, pois apresenta propriedades antifúngicas (BACELOS, 2016).

O níquel é um elemento móvel no floema e xilema, e dependendo da espécie pode ser translocado para as sementes ou para as raízes (SILVA, 2016). Normalmente, a concentração de Ni nas plantas é baixa (1 a 10 mg kg<sup>-1</sup>) (MARENCO; LOPES, 2013).

Segundo MARENCO e LOPES (2013) o Ni é absorvido como Ni<sup>2+</sup>, podendo competir com outros cátions divalentes. Apresenta efeito sinérgico na absorção de nitrogênio e potássio. O níquel é requerido pela planta, pois desempenha funções em atividades enzimáticas, como a atividade da glicoxalase I e da urease que transforma ureia em amônia e gás carbônico como mostra a equação a seguir:



A carência de Ni na planta gera diversas consequências ao vegetal, como a redução da atividade da urease, que culmina na alteração da síntese de proteínas, e que, por sua vez, provoca diminuição no crescimento e no teor de aminoácidos. Concomitante a isso ocorre o aumento do teor de nitrato e ureia nas folhas. Adicionalmente, antecipa a senescência das plantas e modifica o metabolismo do nitrogênio (MARENCO e LOPES, 2013; ROVEDA et al., 2014; SILVA, 2016).

Segundo Ugarte et al. (2015), a alta concentração de Ni nas plantas provoca a diminuição da quantidade de Fe na mesma. Nesse sentido, o excesso do elemento pode levar a uma deficiência de Zn. Além disso pode ocasionar toxidez, que pode variar com a espécie, pois há ocorrência de plantas sensíveis, moderadamente tolerantes e hiperacumuladoras de níquel (MARENCO e LOPES, 2013; ROVEDA et al., 2014; SILVA, 2016).

➤ Sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

✓ Origem do sorgo

O sorgo é originário da África e Ásia, e sua expansão se deu no século XIX. A domesticação do sorgo provavelmente aconteceu por volta de 3.000 A. C., no período em que a prática de domesticação e cultivo de diversos cereais foi introduzida no Egito antigo, vindo da Etiópia (DINIZ, 2010; RIBAS, 2003).

No mundo árabe foi introduzido por volta de 1000 a 800 a. C.. Na Índia, o cultivo do sorgo remonta ao século I d. C. e, da Índia, o sorgo chegou na Europa através da Itália (60 a 70 anos d. C.), e na China (século III d. C.) (RIBAS, 2003).

Segundo Ribas (2003), as primeiras introduções nas Américas ocorreram no Caribe, que por sua vez atingiu os Estados Unidos por volta da metade do século XIX.

O sorgo granífero surgiu na década de 40 nos Estados Unidos da América e era chamado de “combine types”. No Brasil, sua expansão se deu na década de 70, nos estados de RS, SP, BA e PR (RIBAS, 2003; ROSA, 2012).

✓ Aspectos gerais da cultura



O sorgo é uma planta que vem sendo domesticada pelo homem há muito tempo, para que fosse possível atender suas necessidades. É um cereal da família *Poaceae*, que possui duas subfamílias (*Panicoideae* e *Festucoideae*). A *Panicoideae* é caracterizada por apresentar espiguetas compridas. Dentro desta subfamília está inserida a tribo *Andropogoneae*, na qual está agrupado o sorgo, como mostra o quadro 1.1. (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009).

Quadro 1. Classificação botânica do sorgo granífero.

Classificação Botânica – Sorgo Granífero	
FAMÍLIA	<i>Poaceae</i>
SUBFAMÍLIA	<i>Panicoideae</i>
TRIBO	<i>Andropogoneae</i>
GÊNERO	<i>Sorghum</i>
ESPÉCIE	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench
SUB-ESPÉCIE	<i>Sorghum bicolor</i> ssp. <i>bicolor</i>

Fonte USDA, 2006. (adaptado de FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009).

Sua raiz é ramificada e profunda o que auxilia na retenção de água do solo. O caule, por sua vez, é dividido em nós e entrenós e folhas ao longo de toda a planta, apresenta cobertura cerosa nos colmos e folhas. Em estresse hídrico suas folhas enrolam-se, possuindo reduzido nível de transpiração, e superfície foliar comparada a do milho, com regulação estomática mais eficaz que o milho. Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco. Compreende espécies anuais e espécies vivazes. (DINIZ, 2010; FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009).

Por ser uma planta C4, o sorgo apresenta altas taxas fotossintéticas, e crescimento e desenvolvimento bons em temperaturas acima de 21 °C. Apresenta alta adaptabilidade em solos com excesso ou déficit hídricos, pois em ambientes com falta de água as plantas diminuem seu desenvolvimento (hibernação), até novo fornecimento de água, quando ocorre rápida recuperação (CYSNE; PITOMBEIRA, 2012; DINIZ, 2010).

Baixas temperaturas ocasionam diminuição da área foliar, perfilhamento, altura, acumulação de matéria seca e atraso na floração, assim como, diminuição da produtividade, já que a produção de clorofila decresce

ocasionando a diminuição da fotossíntese. Em temperaturas acima de 38 °C ocorrem aborto floral e diminuição da produtividade da cultura (DINIZ, 2010).

O sorgo é uma planta multifuncional. Seu grão é utilizado como alimento humano e animal, como matéria-prima para produzir álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas. Sua panícula é utilizada para a confecção de vassouras e do colmo é possível extrair açúcar (RIBAS, 2003).

A cultivar BRS 330 é um híbrido do sorgo granífero, apresenta alta produtividade, excelente adaptabilidade, rusticidade, boa tolerância ao acamamento, boa tolerância à antracnose, à helmintosporiose, à míldio e à cercosporiose, tolerância a alumínio no solo possibilitando um bom desenvolvimento radicular, melhorando a absorção de nutrientes e água do solo, o que a torna resistente ao déficit hídrico (EMBRAPA, 2010; TEIXEIRENSE, 2015).

#### ✓ Importância econômica do sorgo

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, atrás, apenas, de arroz, trigo, milho e cevada. É um produto versátil que pode ser utilizado na alimentação humana e animal, serve de matéria prima para a produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas, tintas, vassouras, na extração de açúcar, na produção de amido e óleo vegetal (CONAB, 2015).

Na agropecuária, o sorgo é bastante utilizado como ração animal, para silagem e pastejo, visto que apresenta vantagens como: alto potencial de produção, é uma cultura mecanizável e constitui excelente fonte de energia para a alimentação animal, além de ser uma cultura de fácil adaptabilidade em regiões de clima seco (CONAB, 2015).

Os maiores produtores mundiais são Estados Unidos, Nigéria e Sudão, conforme mostra a gráfico 1.3 com dados atualizados de USDA (2017). No ano de 2014 ocorreu aumento na demanda de sorgo, pela entrada da China como importadora do grão, o que ocasionou aumento do preço do produto, sendo que o preço do sorgo é dependente do preço do milho (CONAB, 2015, 2017; CONAB, 2015; EMBRAPA, 2010).

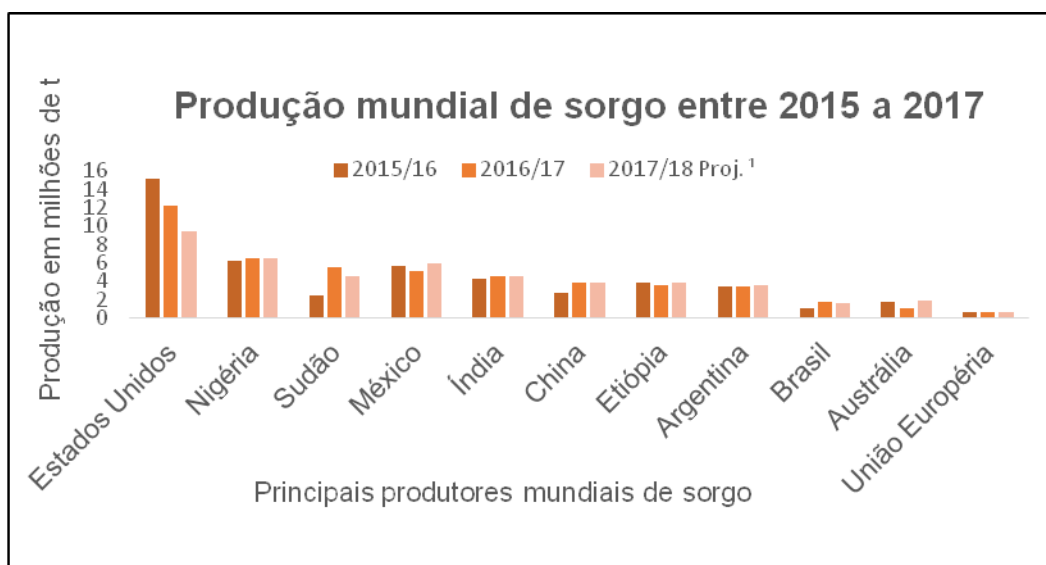


Gráfico 1.3. Produção mundial de sorgo entre 2015 e 2017. Fonte: USDA (2017). <sup>1</sup> Proj. – projeção para a próxima safra. Figura autoral.

No Brasil são cultivados quatro tipos de sorgo: o sorgo granífero, forrageiro, sacarino e vassoura, que possuem características peculiares e típicas para cada uso. O País possui uma área plantada de 628,5 mil ha e produtividade total de 2.967 kg ha<sup>-1</sup>, com produção de 1.864,8 mil toneladas de grãos (BOLETIM GRÃOS, 2015; CONAB, 2017).

No panorama nacional, a maior produção foi registrada no centro oeste (GRÁFICO 1.4), que na safra 2016/2017 apresentou bons resultados devido ao regime de chuvas que ocorreu na região de produção, sendo grande parte da produção de grãos destinada à alimentação animal (CONAB, 2017).

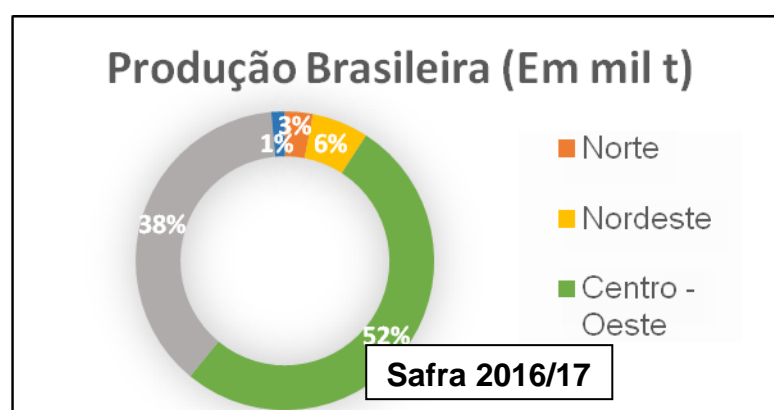


Gráfico 1.4. Produção estimada (em mil T) de cada região brasileira, realizada em setembro de 2017. Fonte das informações: CONAB (2017). Imagem autoral.

## Referências Bibliográficas

BRASIL. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo / Dorothy C. P. Casarini [et al.]. - São Paulo: CETESB, 2001. 73 p. (CETESB. Relatório. São Paulo: 2001. 73 p.)

BERTOCINI, E. I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni, e Zn em latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas.** 195p. [Tese - Doutorado na área de concentração em solos e nutrição de plantas], Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de queiroz", Universidade de São Paulo, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo / José Bertoni, Francisco Lombardi Neto. – São Paulo: ícone, 2010. – 7º edição.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; SOUSA JUNIOR, J. G. de A.; VIVALVI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2831-2838, Número Especial, 2008.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; ALCANTARA, F. A. de; RESCK, I. S.; LEMOS, S. de S. Decomposição de resíduos vegetais e efeito sobre o carbono, nitrogênio e fósforo em Latossolo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, Nov-2008. 24 p. 1º ed. - 225.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G. dos; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas (cap 3). O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal / eds. Fátima M. S. Moreira, Juvenil E. Cares, Ronald Zanetti e Sidney L. Sturmer. Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 47-62.

CMMAD, 1988. Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso futuro comum. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. 1988.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, grãos. V. 4 - Safra 2016/17- N. 12- (Décimo Segundo levantamento, Brasília: CONAB Set 2017, 158p).

\_\_\_\_\_. Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária / Produtos do verão. – v.3, safra 2015/2016 – Brasília : CONAB, Set/2015. 130p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 420/2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> acesso em 11/09/17.

Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente (Estocolmo, 1972). Disponível em: [https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/1972\\_Declaracao\\_Estocolmo.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/1972_Declaracao_Estocolmo.pdf). Acesso em 11/09/17.

Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas** / Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Marques Dalla Costa... [et. Al.]; – (DNPM, Brasília: 2016. 31 p.)

DINIZ, G. M. M. Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench Aspectos Gerais. Dissertação de mestrado/Guilherme Matos Martins Diniz. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Sorgo - BRS 330. 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/404/sorgo---brs-330>> acesso em 12/09/2016.

\_\_\_\_\_. EMBRAPA Milho e Sorgo. Sistemas de Produção - Cultivo do sorgo, Mercado e comercialização. Jason de Oliveira Duarte. 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6<sup>a</sup> edição Set./2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27071/1/Mercado-comercializacao.pdf> acesso em 16/09/2017.

ENVIRONMENT AGENCY. Contaminants in soil: collation of toxicological data and intake values for humans. Nickel. Swindon: Environment Agency, p. 26. 2002.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. Manual da cultura do sorgo. Eds. Domingos Fornasieri Filho e José Luiz Fornasieri. Jaboticabal: FUNEP, 2009. p. 1 - 34.

Hausinger R. P.; Biochemistry of Nickel, Plenum Press: New York, 1993.

KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H. 1985. Trace elements in soils and plants. 3. ed. Boca Raton: CRC.

MALAVOLTA, E. Fertilizante e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994.p. 1 - 153p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição vegetal / Ricardo Antonio Marengo, Nei F. Lopes. 3. ed., atual. ampl. – Viçosa, MG, Ed. UFV, 2013. 486p.

MATIAS, M. C. B. S. Decomposição de resíduos vegetais de plantas de cobertura e produtividade da cultura de milho / (dissertação de mestrado) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 2013 xii, 80 p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionado a solos de clima tropical em diferentes valores de pH.** 1994. 197p. (Tese de livre Docência) Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

Mc Grath, S. P. Chromium and nickel In: Alloway, B.J (Ed.) Heavy metals in soils. London: Blackie Academic and Professional Publishers, 1995. p. 152-178.

MELLIS, E. V. **Adsorção e dessorção de Cd, Cu, Ni e Zn, em solo tratado com lodo de esgoto.** 2006. 174p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

MOREIRA, F. M. de S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STURMER, S. L. ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal / eds. Fátima M. S. Moreira, Juvenil E. Cares, Ronald Zanetti e Sidney L. Sturmer. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 352 p.

NAKAGAKI, S.; FRIEDERMANN, G. R.; CAIUT, J. M. A. METIL COENZIMA M REDUTASE (MCR) E O FATOR 430 (F<sub>430</sub>). **Química Nova**, Vol. 29, No. 5, p. 1003-1008, 2006.

PFERNNING, L. H. Fungos do solo. (cap 14). O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal / eds. Fátima M. S. Moreira, Juvenil E. Cares, Ronald Zanetti e Sidney L. Sturmer. Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 273 - 287.

REIS, A. R. dos; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. de. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. Informações agrônômicas. **International Plant Nutrition**, Nº 147. Set/2014. Acesso em (26/02/2017). Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/0A37B421DA0EA5F383257D660046D009/\\$FILE/Page10-24-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/0A37B421DA0EA5F383257D660046D009/$FILE/Page10-24-147.pdf)

REIS, T. C. **Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl<sub>2</sub> e bio sólido.** 2002. 105p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RODAK, B. W. ; MORAES, M. F. ; PASCOALINO, J. A. L. ; ALVES, S. J. F. ; CASTRO, C. ; OLIVEIRA JUNIOR, A. . Níquel: atividade da enzima urease em soja cultivada em solos de texturas contrastantes. In: III REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIAS DO SOLO, 2013, Londrina. Resumos: III Reunião Paranaense de Ciências do Solo, 2013.

RIBAS, P. M. Sorgo: introdução e importância / Paulo Motta Ribas. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26).

RIBEIRO, A. P.; KNISS, C. T.; LAMANO-FERREIRA, A. P. do N.; ALBUQUERQUE, C. R.; FIGUEREDO, A. M. G. Avaliação da qualidade de solos adjacentes às marginais tietê e pinheiros com base nos valores orientadores da cetesb. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brazil, v. 6, n. 12, p. 73-90, 2014.

ROSA, W. J. Cultura do sorgo. Material técnico. Emater-MG Disponível em: <[http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL\\_TECNICO/a%20cultura%20do%20sorgo.pdf](http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/MATERIAL_TECNICO/a%20cultura%20do%20sorgo.pdf)> acesso em 23/08/2017.

ROVEDA, L. F.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. de F. Composto orgânico com altos teores de níquel e sua biodisponibilidade no sistema solo planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.819–825, 2014.

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. 861-871. 1991.

SCHNEBELE, E. K. Minerals Yearbook - Nickel - U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, [(703) 648–4945] January-2017. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2017-nicke.pdf>> acesso em 12/09/2017.

SILVA, C. S. Níquel. Série estatística e economia mineral. Publicação da internet. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-5-niquel>> acesso em 16/09/2017.

\_\_\_\_\_. Balanço mineral. Níquel. Publicação da internet. Disponível em: <[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BALANCO\\_MINERAL\\_022\\_2001.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BALANCO_MINERAL_022_2001.pdf)> acesso em 15/09/2017.

SILVA, I. C. da. Crescimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de nitrogênio e níquel / Igor Cabreira da Silva. – Ilha Solteira: [s.n.], 2016. 73p. Dissertação (mestrado) – UNESP-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Sistemas de Produção. 2016.

SOARES, M.R. **Coeficiente de distribuição (KD) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. 2004. 202p. Tese (Doutorado na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2004.

SOUZA, A. Aula prática: síntese de complexos de níquel, cobre e cobalto (aula 8). Publicação da internet. Disponível em: <[http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/14263707062016Quimica de Coordenacao Aula 8.pdf](http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/14263707062016Quimica%20de%20Coordenacao%20Aula%208.pdf)> acesso em 01/02/2018.

SPINELLI, M. V. P.; CARVALHO, R. M. C. M. de O.; SILVA, H. P. da; BRANDÃO, S. S. F.; FRUTUOSO, M. N. M. de A. Estudo sustentável da capacidade de carga antrópica e a sua influência no ponto de equilíbrio da resiliência ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 09 n. 01. p. 185-199. 2016.

TEIXEIRENSE, S. G. Avaliação da qualidade fisiológica de sorgo granífero. Sara Guedes Teixeira. Orientação: Marcelo Fagioli, Brasília, 2015. Monografia - Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015. p. 21.

TEZOTTO, T. Metabolismo do nitrogênio e senescência em razão da aplicação de níquel no cafeeiro arábica. 2015. Xxp. (Tese de Doutorado – área de concentração em fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2015.

USDA – United Department Of Agriculture. World Agricultural Production. Circular Series. September/2017 Disponível em: <> acesso em: 16/09/17.

USDA - United Department Of Agriculture. Grain: Word Markets and Trade, Setember, 2006. Circular Series.

USGS – United States Geological Survey. Science foi a changing world. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/> acesso em 11/09/2017.

VOTORANTIM - Metais. Relatório Votorantim metais. 2014. Disponível em: [http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Sustentabilidade/Documents/RS\\_VM\\_PT-BR.pdf](http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Sustentabilidade/Documents/RS_VM_PT-BR.pdf) acesso em 13/09/2017.



## **CAPÍTULO 2 - Atividades biológica e enzimática em solo contaminado com nitrato de níquel(II) e óxido de níquel(III) – (experimento I)**

Resumo - Solos contaminados com metais pesados podem sofrer alteração na dinâmica da sua microbiota. O objetivo foi verificar se a adição de fontes de níquel em doses diferentes afetam as atividades biológica e enzimática de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com sorgo. Foi realizado experimento com duas fontes de níquel [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ], utilizando as doses de 35, 70 e 140  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni, em 3 repetições, seguindo o delineamento fatorial 2 x 3, + 1 tratamento controle sem adição de Ni. Para avaliar a qualidade do solo foram determinadas as concentrações de níquel pseudototal e extraível, a concentração do carbono da biomassa microbiana (CBM), a respiração basal do solo (RBS), o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) e a atividade enzimática hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). No solo as concentrações de níquel extraível se manteve baixa, entre 0,27 e 51,84  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni, estando menor que o valor estabelecido pelo órgão regulamentador competente. A RBS e  $q\text{CO}_2$  foram afetados negativamente pela adição de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . As doses também influenciaram os resultados de CBM, RBS e  $q\text{CO}_2$ . Houve correlação linear positiva do Ni extraível ( $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ) com a atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína. As duas fontes utilizadas, nas doses aplicadas, interferiram na qualidade do solo de modo que afetou negativamente as atividades biológicas e enzimáticas.

Palavras-chave: Contaminação do solo; degradação do solo, metal pesado, micro-organismos

## CHAPTER 2 - Biological and enzymatic activities in soil contaminated with nickel (II) nitrate and nickel oxide (III) - (experiment I)

Summary -Soils contaminated with heavy metals may experience change in the dynamics of your microbiota. The objective was to verify the addition of nickel sources in different doses affect biological and enzymatic activities of a Red Latosol distrófico cultivated with sorghum. Experiment was carried out with two sources of nickel [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ], using doses of 35, 70 and 140  $\text{mg kg}^{-1}$  of Ni, 3 repetitions, following the 2 x 3 factorial design, + 1 control treatment without addition of Ni. To assess the quality of the soil were determined the concentrations of pseudototal and extractable nickel, the concentration of microbial biomass (MBC), the basal respiration of soil (BRS), the metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) and activity enzymatic hydrolysis of fluorescein diacetate (HFD). On the ground the concentrations of extractable nickel remained low, between 0.27 and 51.84  $\text{mg kg}^{-1}$  of Ni, being smaller than the value established by the competent regulatory body. RBS and  $q\text{CO}_2$  were affected negatively by the addition of  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . The shots also influenced the results of MBC, BRS and  $q\text{CO}_2$ . There was a positive linear correlation of the Ni ( $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ) with the activity of hydrolysis of fluorescein diacetate. The two sources used in applied doses, interfered on soil quality so that negatively affected the biological and enzyme activities.

Keywords: Ground contamination; soil degradation, heavy metal, microorganisms.

## Introdução

O níquel (Ni) ocorre naturalmente no solo e sua origem são as rochas magmáticas. Pode também ser adicionado ao solo em decorrência de ações antrópicas (REIS, 2002; UGARTE et al., 2015).

Por apresentar características parecidas com outros cátions metálicos, o níquel pode competir por sítios de adsorção ativos no solo, bem como competir na absorção pelas plantas. As reações do Ni no solo são dependentes das características do próprio solo (MARENCO; LOPES, 2013; SILVA, 2016; USGS, 2017). A adição de níquel pode modificar as características químicas do solo, contaminando-o e causando prejuízos à sua qualidade.

Micro-organismos têm sido usados como bioindicadores de qualidade do solo em virtude de proporcionarem respostas rápidas às mudanças no ambiente. A biomassa microbiana (BM) é considerada a parte viva e mais ativa no solo, da qual 60 a 80% são representados por micro-organismos menores que  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  (fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e protozoários). É a principal fonte de enzimas no solo, ou seja, é responsável por grande parte da atividade biológica do mesmo (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006), sendo o restante representado por raízes e componentes da macrofauna.

Juntamente com a BM a respiração basal é uma variável para quantificar a atividade de micro-organismos. A determinação desta variável baseia-se na oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios do solo, que consomem  $\text{O}_2$  e produzem  $\text{CO}_2$ , e pode ser estimada tanto pelo consumo de gás oxigênio como pela produção de gás carbônico (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).

A razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana e o tempo, é chamada de quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), e é utilizada para estimar a eficiência do uso de substratos pelos micro-organismos do solo, sendo sensível para indicar estresses quando a BM é afetada por ações antrópicas ou não (PEIXOTO, 2010).

A atividade enzimática também pode ser usada para avaliar a qualidade do solo. As enzimas agem em grupos ou isoladas e catalisando a hidrólise de

ligações e/ou moléculas (MELO et al., 2010). Várias são as alternativas para mensurar ou mesmo avaliar a atividade microbiana que tem sido usada como bioindicador de qualidade do solo. Dentre elas tem-se a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), considerada uma avaliação indireta, visto que inclui a atividade hidrolítica de várias enzimas (esterases, lipases e proteases) produzidas por micro-organismos decompositores de resíduos orgânicos como bactérias e fungos (CARNEIRO et al., 2008; SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).

Sabendo-se que 90% do fluxo de energia no solo passam através de decompositores primários, sendo a atividade desses micro-organismos imprescindível, é possível obter boa estimativa da atividade microbiológica total (GHINI et al., 1998; MOREIRA, 2006).

As enzimas que catalisam a hidrólise da fluoresceína representam o potencial heterotrófico da biota do solo, pois incluem enzimas liberadas por bactérias e fungos considerados decompositores primários, que atuam em processos de biodegradação de substâncias orgânicas (DICK et al., 1996; MOREIRA, 2006;).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores microbiológicos e enzimáticos de um solo submetido à aplicação de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , com a finalidade de avaliar o potencial tóxico deste elemento no solo.

## Material e métodos

### Local do experimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$ , em casa de vegetação situada na FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP ( $21^\circ 15' 20''\text{S}$ ,  $48^\circ 10' 02''\text{W}$ , 579 m de altitude) (FIGURA 2.1). Foram utilizadas 2 fontes de Ni [ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ], em 3 doses, mais um tratamento controle, com 3 repetições para cada tratamento.



Figura 2.1. Casa de vegetação localizada na FCAV-UNESP, campus de Jaboticabal. Fonte: internet.

As doses de Ni foram estabelecidas de acordo com os valores orientadores para solos do Estado de São Paulo (CETESB, 2001), considerando-se o valor de intervenção para solos agrícolas, que é de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni. Assim, as doses de Ni foram definidas para que as fontes fornecessem 35, 70 e  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni. A escolha das fontes foi de acordo com a solubilidade das mesmas, portanto foi utilizada uma fonte mais solúvel e outra menos solúvel.

O tratamento controle recebeu apenas fertilização mineral, de acordo com Melo et al. (1998). A adubação foi realizada da seguinte forma: N (sulfato de amônio) 8 g; P (super fosfato simples) 28 g e K (cloreto de potássio) 4,17 g por vaso para todos os tratamentos. Os tratamentos estão discriminados a seguir:

- ❖ Controle - somente fertilização mineral;
- ❖ NN1 –  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , dose de  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;
- ❖ NN2 -  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , dose de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;
- ❖ NN3 -  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , dose de  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;
- ❖ ON1 -  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , dose de  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;
- ❖ ON2 -  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , dose de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;
- ❖ ON3 -  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , dose de  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni.

A planta teste deste experimento foi o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), híbrido BRS 330. O porte da mesma permite seu cultivo em casa de vegetação até o final do ciclo (Figura 2.2).



FIGURA 2.2. Planta de sorgo. Imagens da autora.

A germinação do sorgo foi realizada em areia lavada, por um período de 12 dias (FIGURA 2.3), para então ser transplantada para o vaso do experimento.



FIGURA 2.3. Processo de obtenção de mudas de sorgo. (A) sementes de Sorgo BRS 330; (B, C e D) produção de mudas postas a germinação. Imagens da autora.

## Caracterização e preparo das amostras de solo

As amostras de Latossolo Vermelho distrófico (LVd) foram coletadas no Município de Jaboticabal-SP e submetidas a análise para avaliação da fertilidade, sendo obtidos os resultados a seguir: MO -  $12 \text{ g dm}^{-3}$  ;  $P_{\text{resina}}$  -  $8 \text{ mg dm}^{-3}$  ;  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  - 5,2;  $\text{Ca}^{2+}$  -  $9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ; K -  $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ;  $\text{Mg}^{2+}$  -  $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ;  $\text{S-SO}_4^{2-}$  -  $7 \text{ mg dm}^{-3}$  ; H+Al -  $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ; SB -  $12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ; CTC -  $26 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V% - 46.

O solo foi seco ao ar e à sombra, destorroado, passado em peneira com 5 mm de abertura de malha e submetido à calagem para elevação da saturação por bases a 70%. Foi utilizado calcário e o solo foi incubado por 30 dias (RAIJ et al., 1997). A fertilização mineral foi realizada de acordo com Melo et al. (1998), para experimentos em vasos. Em seguida, o solo foi usado para o enchimento de 21 vasos com capacidade de 10 kg de solo.

O solo de cada vaso foi removido e misturado com as respectivas fontes e doses de Ni e então recolocado nos vasos. Foi feito o transplante de 3 mudas de sorgo granífero, previamente produzidas, para cada vaso, tendo as plantas 13 dias de emergência. Após o transplante, os solos foram irrigados com água destilada de modo a atingir umidade equivalente a 70% da capacidade de retenção de água (CRA) e assim mantidos, por meio de pesagens periódicas e reposição da água evapotranspirada. As adubações foram realizadas de acordo com Melo et al., (1998), em todos os vasos do experimento, com sulfato de amônio, cloreto de potássio e super fosfato simples, os dois primeiros foram parcelados em adubação de fundação e duas de cobertura, aos 40 e 60 dias após a instalação do experimento (FIGURA 2.4).

Quando as plantas atingiram altura de 15 cm foi realizado o desbaste (aos 14 dias após a implantação do experimento), mantendo-se apenas uma planta por vaso, até o final do seu ciclo. As plantas do desbaste foram depositadas na superfície de cada vaso, para garantir que os nutrientes e o metal pesado por elas absorvido não fosse removido do sistema (MELO et al., 1998).





FIGURA 2.4. Condução do experimento com plantas de sorgo. (A) Plantio de sorgo, com mudas previamente produzidas; (B) Pesagem periódica para manter a umidade; (C) Adubação de cobertura em plantas de sorgo. Imagens da autora.

No final do ciclo da cultura foram retiradas três amostras simples de solo de cada vaso, que foram homogeneizados para formar uma amostra composta que foi utilizada para fins de análises. As amostras de solo são para verificar quanto de Ni ainda contém em cada vaso de solo contaminado. Este solo foi peneirado (2 mm de abertura de malha) e colocado em freezer para fins de análises biológicas e enzimáticas.

### Avaliações

#### a) Níquel pseudototal

Para a determinação dos teores de níquel pseudototal (denominado pseudototal, já que o método de digestão utilizado não extrai a fração silicatada do solo) as amostras de solo foram submetidas à digestão ácida com  $\text{HNO}_3$  +  $\text{H}_2\text{O}_2$  +  $\text{HCl}$ , segundo o método 3050B da USEPA. No extrato obtido, foi determinada a concentração de Ni pseudototal por espectrofotometria de absorção atômica com chama de ar acetileno.

#### b) Níquel extraível

O método utilizado foi o Mehlich-1 (BACKER e AMACHER, 1982; PERKINS, 1970), que é baseado na extração do metal com extrator ácido ( $\text{HCl}$  0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,125 mol  $\text{L}^{-1}$ ). A determinação da concentração de Ni



extraível também foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica com chama de ar acetileno.

### Atividade biológica

#### a) Carbono da biomassa microbiana (CBM)

O método utilizado para a determinação do carbono da biomassa microbiana (FIGURA 2.5, 1 - 8), consistiu na irradiação-extração com emprego de micro-ondas, de acordo com Ferreira et al. (1999). Para tanto, pesaram-se 10 g de solo em erlenmeyer de 125 mL, sendo as amostras irradiadas em micro-ondas após cálculo da potência real do micro-ondas. Após esse processo conduziu-se à extração adicionando-se 40 mL de solução de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) por 30 min, em agitador. Ao término do período de incubação, as amostras foram filtradas em papel de filtro qualitativo. Em uma alíquota de 8 mL foram adicionados 2 mL de solução de dicromato de potássio ( $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ ), 10 mL de ácido sulfúrico, após a reação de oxirredução foi adicionado 5 mL de ácido fosfórico que facilita a visualização do ponto de viragem. A mistura resultante foi colocada em banho-maria por 1 h (a  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ), para oxidação do carbono. Após este processo, completou-se o volume do erlenmeyer com água deionizada até 75 mL, foram adicionadas 3 gotas de difenilamina e a mistura resultante foi titulada com sulfato ferroso amoniacal ( $0,0333 \text{ mol L}^{-1}$ ).



Figura 2.5. (1 – 8). Análise de Biomassa microbiana. Imagens da autora. (1) Amostras pesadas; (2) Amostras irradiadas; (3) Amostras com a solução de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ); (4) Agitação das amostras; (5) Amostras sendo filtradas; (6) solução em banho-maria; (7) Titulação da solução; (8). Solução após ponto de viragem.

#### b) Respiração basal do solo (RBS)

A estimativa da atividade respiratória foi determinada segundo Alef e Nannipieri (1995), cujo método consiste na incubação das amostras de solo com umidade corrigida para 55%, por 3 dias, a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . As amostras com 50 g de solo foram colocadas no fundo de um frasco hermeticamente fechado, contendo solução de  $NaOH$  ( $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ) e, em seguida, tituladas com solução de  $HCl$  a  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , como mostra a FIGURA 2.6 (1 – 4).

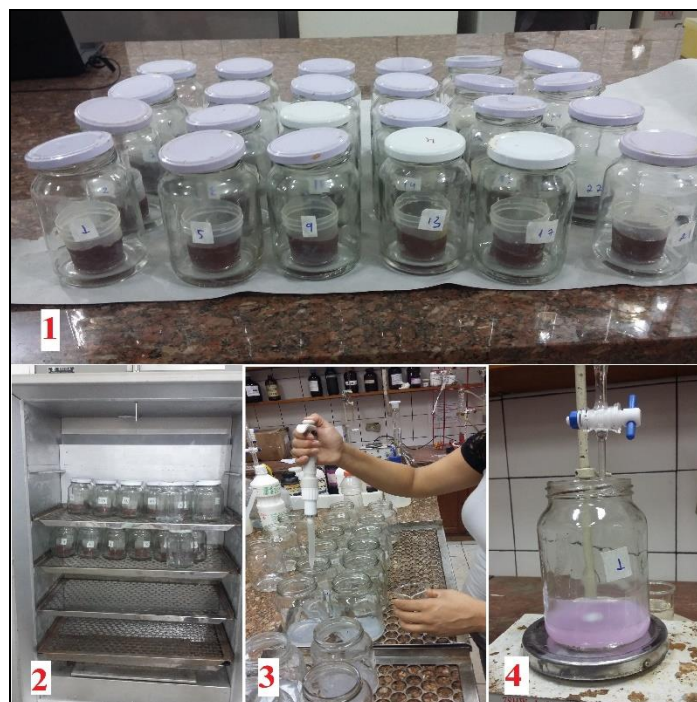


Figura 2.6. Processo de análise de respiração do solo. Imagens da autora. (1) Amostras em potes com solução de NaOH ( $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ); (2) Incubação em BOD por 3 dias, a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; (3) Adição de reagentes ( $\text{BaCl}_2$  a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e 3 gotas de fenolftaleína); (4) Titulação com HCl a  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ .

### c) Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ )

O  $q\text{CO}_2$  representa a quantidade de  $\text{CO}_2$  liberado por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo. Resulta do quociente entre a respiração basal do solo (RBS) e o carbono na biomassa microbiana do solo (CBM), o cálculo do  $q\text{CO}_2$  foi realizado com base em Anderson e Domsch (1993), conforme a equação 1 a seguir:

$$q\text{CO}_2 \text{ (mgC-CO}_2\text{.g}^{-1}\text{CBM.h}^{-1}) = \text{RBS (mgC - CO}_2\text{.kg}^{-1}\text{solo.h}^{-1}) \div \text{CBM (mgC.kg}^{-1}\text{solo).}10^{-3}$$

Equação 1

Em que:

RBS = Respiração basal do solo;

CBM = carbono na biomassa microbiana do solo.

### Atividade enzimática

#### a) Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

Para a determinação do potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína, amostras de solo foram incubadas com e sem o substrato FDA, em meio tamponado com tampão fosfato de sódio  $60 \text{ mmol L}^{-1}$ , pH 7,6 por 3 h, a  $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , sob agitação. Em seguida, a fluoresceína foi extraída e sua quantificação foi realizada em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 490 nm, para a determinação da quantidade de fluoresceína hidrolisada (SCHUNER e ROSSWALL, 1982). (FIGURA 2.7, 1 – 3).



Figura 2.7. Processo de análise de hidrólise do diacetato de fluoresceína. Imagens da autora. (1) Amostras incubadas com e sem substrato; (2) Filtração após o período de incubação; (3) Leitura em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 490 nm.

#### Tratamento dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância segundo esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$  com 3 repetições, tratamento controle, totalizando 7 tratamentos. Foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA et al., 2016), para análise de variância e teste F para resultados com significância  $< 0,05$ .

Nas análises de variância em que o teste F foi significativo a 1 ou a 5% de probabilidade, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Para a comparação da média do tratamento testemunha com a média de cada um dos demais tratamentos, foi utilizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

## Resultados e discussão

No experimento realizado a adição de Ni na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  contribuiu para o aumento do referido metal no solo que foi cultivado com sorgo granífero (Tabela 2.1). Pode-se ver claramente que apesar das altas concentrações de Ni pseudototal que ficaram entre 31,07 e 191,96  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni, as concentrações foram inferiores aos valores de órgãos regulamentadores como a CETESB, já as concentrações de níquel extraível foram menores ainda e variaram entre 0,27 e 51,84  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni. Ernani (2016), explica que a adição de fertilizantes ou de qualquer outra fonte de metal ao solo modifica sua atividade na solução, ocorrendo um deslocamento no equilíbrio do elemento adicionado em direção à fase sólida. Sendo assim, o cátion adicionado passa a ocupar parte das cargas elétricas negativas do solo e como consequência, parte dos cátions preexistentes na camada elétrica difusa é deslocada para a solução do solo pelo cátion que entrou no sistema, ocasionando assim, a indisponibilidade do Ni. Ainda segundo Ernani (2016), o tipo de adsorção dependerá da configuração eletrônica de cada elemento e de sua concentração na solução, ou seja, os que estão em grandes concentrações competem pelas cargas negativas e se ligam eletrostaticamente, já os que estão em baixas concentrações geralmente se ligam aos grupos funcionais por meio de complexos de esfera interna (adsorção específica).

O níquel, em condições naturais está fortemente associado com os óxidos de Fe e Mn, demonstrando grande afinidade de adsorção. Além disso, os solos com percentual considerável de argila podem adsorver o Ni presente na solução do solo (UGARTE, 2015). Nesse sentido, os atributos que mais influenciam a adsorção de Ni são os que modificam a química do solo, como pH e CTC. (JORIS et al., 2012).

Provavelmente, o níquel adicionado na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  se manteve em sua maioria indisponível em decorrência das características do solo utilizado e da preparação deste para o experimento, com a utilização de calagem, que libera íons  $\text{OH}^-$ , diminuindo a acidez do solo e aumentando a CTC efetiva. Com isso há aumento na capacidade adsortiva de Ni.

A calagem favorece a adsorção de Ni, como foi observado por JORIS et al. (2012), que em experimento avaliando a utilização da calagem e seus efeitos na capacidade adsortiva de alguns elementos metálicos, incluindo o níquel, observaram que a calagem promoveu maior adsorção do elemento, provavelmente pelo fato de que o aumento do pH promove a formação de sítios específicos de adsorção de Ni.

Tabela 2.1. Concentrações de níquel pseudototal e extraível no solo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .

Tratamentos	mg kg <sup>-1</sup> de Ni	
	Níquel pseudototal	Níquel extraível
<b>Controle</b>	31,07	0,27
<b>NN1</b>	63,78	12,83
<b>NN2</b>	128,06	24,05
<b>NN3</b>	191,96	51,84
<b>ON1</b>	83,38	1,30
<b>ON2</b>	119,84	2,14
<b>ON3</b>	175,79	4,18

NN1, NN2, NN3 – adição de Ni como  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , nas doses 35, 70 e 140 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; ON1, ON2, ON3 - adição de Ni como  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  nas doses 35, 70 e 140 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; Controle - sem adição de níquel.

As alterações da qualidade do solo produzidas pelas ações antrópicas ou não, podem ser avaliadas pela atividade da microbiota do solo. Tais avaliações podem ser realizadas com eficiência, medindo-se o carbono na biomassa microbiana, a respiração basal do solo, o quociente metabólico e a atividade enzimática, tal como a hidrólise do diacetato de fluoresceína, por serem indicadores sensíveis da modificação natural ou antropogênica do ambiente (DOUMER et al., 2011). O que foi realizado neste experimento. Os resultados de CBM, RBS, qCO<sub>2</sub> e FDA nos mostram que a adição de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  alteram a química do solo.

De acordo com as médias das duas fontes utilizadas houve diferenças significativas para o CBM, que foi menor quando se utilizou a fonte  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  (Tabela 2.2). Em contrapartida, a RBS, o  $q\text{CO}_2$  e o FDA foram menores quando o solo foi contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . São necessárias análises mais aprofundadas para averiguar a influência específica de cada fonte de níquel nas atividades biológica e enzimática, já que o CBM apresentou menor expressividade nos resultados com a utilização de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , e a RBS,  $q\text{CO}_2$  e o FDA com a utilização do  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . A adição de sais solúveis como o  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  apresenta tendência de retenção de elementos, seja por adsorção, oclusão ou precipitação no solo, devido às suas propriedades iônicas (MARTINELLI, et al., 2014) neste caso o Ni.

Tabela 2.2. Atividade biológica e enzimática em Latossolo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .

Fontes de Ni	Atividades biológica e enzimática			
	CBM g kg <sup>-1</sup>	RBS mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> s	$q\text{CO}_2$ mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> CBM h <sup>-1</sup>	FDA f mg kg <sup>-1</sup> s h <sup>-1</sup>
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	0,022 a	43,578 b	27,719 b	14,169 b
$\text{Ni}_2\text{O}_3$	0,019 b	54,499 a	38,543 a	15,720 a
Teste F	15,502 **	30,148 **	42,435 **	5,431 *
DMS (5%)	0,001	4,261	3,559	1,426
<b>Dose (mg kg<sup>-1</sup>)</b>				
35	0,022 a	42,572 b	27,042 b	14,996 a
70	0,020 ab	53,123 a	36,231 a	14,272 a
140	0,019 b	51,421 a	36,121 a	15, 565 a
Teste F	5,789 **	10,814 **	13,432 **	1,263 ns
DMS (5%)	0,002	6,373	5,324	2,133
Interação Fontes x	14,996 **	1,714 ns	2,357 ns	1,311 ns
Fatorial x Controle	2,200 ns	22,981 **	21,888 **	5,805 *
Controle	0,019	61,652	43,41	12,823
Média dos fatores	0,021	47,888	31,921	15,358
CV%	6,86	8,30	10,19	9,64

CBM = carbono da biomassa microbiana; RBS = respiração basal do solo;  $q\text{CO}_2$  = quociente metabólico; FDA = hidrólise do diacetato de fluoresceína. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DMS = diferença mínima significativa. \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade. \* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O CBM diminuiu com o aumento das doses de Ni, enquanto a RBS e  $q\text{CO}_2$  aumentaram sua atividade com o aumento da dose dose 70 desse



elemento. Já o FDA permaneceu sem diferença significativa entre as doses. Esse fato pode indicar estresse, já que, a compensação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular, causando perdas de carbono da biomassa na forma de  $\text{CO}_2$  (BERTON et al., 2006; PACHECO et al., 2016).

O aumento das doses de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  proporcionou diminuição do teor de CBM no solo contaminado na dose de  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tabela 2.3). Por outro lado, a utilização de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  promoveu aumento nos teor de CBM do solo na mesma dose citada, fato que pode ter sido ocasionado pelo nitrato ser mais solúvel que o óxido, o que pode ter desfavorecido a atividade da microbiota.

A respiração basal do solo e o quociente metabólico apresentaram diferenças significativas entre as doses para o tratamento com utilização de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Neste ocorreu aumento da atividade nas doses de  $70$  e  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  para RBS e  $q\text{CO}_2$ , respectivamente, que pode indicar estresse provocado pela adição de Ni como  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ .

Segundo Anderson e Domsch (2010), altos valores de  $q\text{CO}_2$  refletem a manutenção da demanda de carbono e se o sistema não reabastecer esse carbono que se perde pela respiração, o carbono da biomassa deve diminuir, o que aconteceu neste tratamento. O solo contaminado com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , não apresentou resultado significativo para RBS e  $q\text{CO}_2$ , porém diferiu do controle que foi maior, mostrando que a adição de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  influenciou nos resultados (Tabela 2.3).

A adição ao solo de metais pesados pode alterar a atividade biológica e enzimática, pois a microbiota sofre estresse por fitotoxicidade e pode morrer. Neste experimento pode-se ver claramente que a respiração basal do solo (dose  $70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) juntamente com o  $q\text{CO}_2$  (dose  $70$  e  $140 \text{ mg kg}^{-1}$ ) aumentaram quando se elevou a dose de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  (Tabela 2.3). Segundo Melo et al. (2017), a adição de metais pesados ao solo pode promover estresse na microbiota do solo, sendo capaz de aumentar sua atividade como forma de compensação. Tal estresse provavelmente está sendo promovido pela adição de Ni no sistema solo-planta, visto que os valores de controle para RBS e  $q\text{CO}_2$



são maiores. Nesse contexto, Sousa et al. (2014), afirmam que valores altos de  $qCO_2$  podem indicar estresse fisiológico, enquanto valores baixos, indicam ausência de estresse.

Tabela 2.3. Valores médios da interação significativa entre as fontes de níquel e as doses de Ni da análise de variância referente a atividades biológica e enzimática em Latossolo contaminado por Ni.

Fontes de níquel	Doses de níquel ( $mg\ kg^{-1}$ )		
	35	70	140
<b>CBM (<math>g\ kg^{-1}</math>)</b>			
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,025 aA	0,023 aA	0,019 bB
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,020 bA	0,019 bA	0,021 aA
Controle = 0,020 ns		DMS (controle) = 0,0034	
DMS coluna (5%) = 0,0025		DMS linha (5%) = 0,0031	
<b>RBS (<math>mg\ CO_2\ kg^{-1}\ solo</math>)</b>			
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	36,70 bB	50,09 aA	43,94 bAB
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,44 aB	56,15 aAB	58,90 aA
Controle = 61,65**		DMS (controle) = 10,02	
DMS coluna (5%) = 7,38		DMS linha (5%) = 9,01	
<b><math>qCO_2</math> (<math>mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ CBM\ h^{-1}</math>)</b>			
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	20,00 bB	29,95 bA	33,22 aA
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,10 aB	42,51 aA	39,02 aAB
Controle = 43,41**		DMS (controle) = 8,37	
DMS coluna (5%) = 6,16		DMS linha (5%) = 7,52	
<b>FDA (Fluoresceína <math>mg\ kg^{-1}\ solo\ h^{-1}</math>)</b>			
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	14,79 aA	13,65 aA	14,07 bA
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,20 aA	14,89 aA	17,07 aA
Controle = 12,82*		DMS (controle) = 3,35	
DMS coluna (5%) = 2,47		DMS linha (5%) = 3,01	

CBM = carbono da biomassa microbiana; RBS = respiração basal do solo;  $qCO_2$  = quociente metabólico; FDA = hidrólise do diacetato de fluoresceína. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DMS = diferença mínima significativa. Sendo letras maiúsculas comparação entre colunas, e letras minúsculas entre linhas.

A enzima hidrólise do diacetato de fluoresceína apresentou diferença significativa na última dose para as duas fontes. Na análise prévia para instalação do experimento o solo apresentou  $12\ g\ dm^{-3}$  de solo de matéria orgânica na análise de fertilidade do solo. Segundo Oliveira et al. (2014), a quantidade de fluoresceína hidrolisada está relacionada com a maior

quantidade de enzimas liberadas pelos micro-organismos, o que pode estar diretamente associado com a quantidade de matéria orgânica das amostras. Logo, quanto maior a quantidade de resíduo orgânico adicionado, maior a atividade dos micro-organismos, que resultará em maiores valores de fluoresceína hidrolisada.

A atividade enzimática hidrólise do diacetato de fluoresceína é realizada por micro-organismos decompositores primários, como bactérias e fungos, que liberam as enzimas esterases, proteases e lipases no decorrer do processo de decomposição de resíduos orgânicos (MOREIRA, 2006). Por esse motivo é essencial que haja material orgânico decomponível para que esse tipo de micro-organismo possa agir.

Ao realizar correlação nos dados obtidos apenas a hidrólise do diacetato de fluoresceína se apresentou correlação com a adição de Ni ( $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ). O aumento do níquel extraível no solo devido a adição de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  apresentou resultado significativo apenas para a atividade enzimática hidrólise do diacetato de fluoresceína, com  $R^2$  de 0,88 e correlacionou-se de forma linear positiva. Portanto, quanto mais níquel extraível no solo, adicionado como  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , maior poderá ser a atividade enzimática citada anteriormente. (GRÁFICO 2.1).

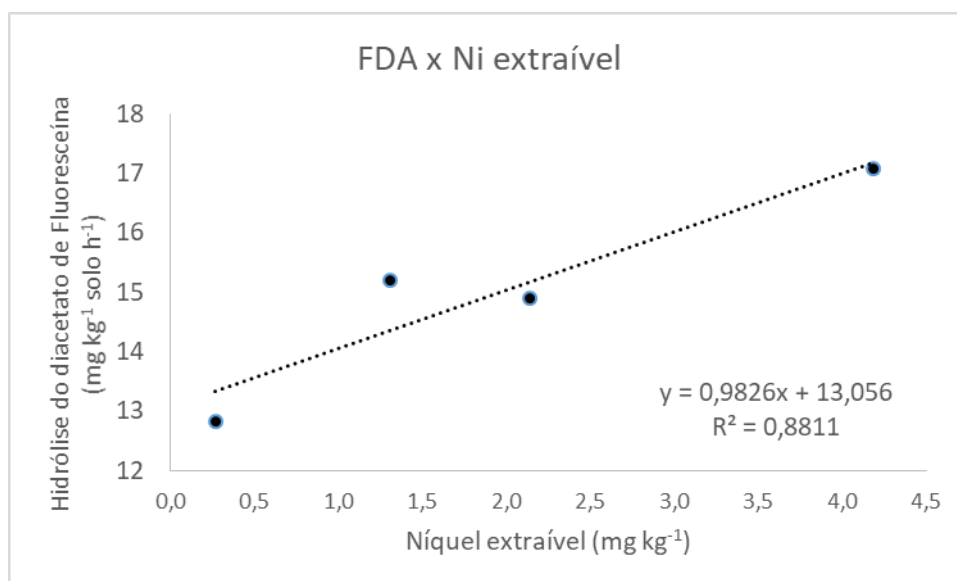


Gráfico 2.1. Correlação hidrólise do diacetato de fluoresceína com o níquel extraível no solo ao qual foi adicionado Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ni = níquel; FDA = hidrólise do diacetato de fluoresceína.

Estes resultados demonstram que as fontes utilizadas alteram de maneira diferente a bioquímica do solo, produzindo resultados distintos, certamente em função da solubilidade das fontes utilizadas neste trabalho Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Comparando-se as fontes utilizadas neste experimento para a respiração basal do solo e o quociente metabólico é possível inferir que o Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi o que menos influenciou a atividade biológica, sendo os valores de RBS e qCO<sub>2</sub> maiores do que no solo contaminado com Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Portanto, o Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> adicionado ao solo causou efeito negativo na respiração basal do solo e no quociente metabólico. Solos contaminados por metais em decorrência de ação antrópica ou não, podem apresentar mudanças na sua dinâmica.

## Conclusões

1. A respiração basal do solo e o quociente metabólico diminuíram quando foi utilizado o tratamento com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ .
2. O tratamento controle da respiração basal do solo e quociente metabólico foram maiores, do que, os resultados com adição de Ni para as duas fontes utilizadas, mostrando que o  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  também influenciou negativamente nos resultados.
3. Houve correlação positiva entre a hidrólise do diacetato de fluoresceína e o níquel extraível do solo para o tratamento com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ .

## Referências bibliográficas

Anderson, T-H.; Domsch, K. H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology & Biochemistry**. 42, 2039-2043. 2010.

Agency for Toxic Substances and Disease Control (ATSDR). Toxicological Profile Information Sheet. Acesso em Jan/2016. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/>.

Alef, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Editors). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: Academic Press, 1995, p.214-219.

Baker, D.E., Amacher, M.C., 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods. American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI, 1982. p. 323 – 336.

BERTON, R.S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L. de; ABREU, C. A. de; AMBROSANO, E. J.; SILVEIRA, A. P. D. da. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1305-1312, ago. 2006.

Bertocini, E. I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni, e Zn em latossolos sucessivamente tratados com bio sólido: extração seqüencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 2002. 195p. Tese (Doutorado na área de concentração em solos e nutrição de plantas), Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

Carneiro, M.A.C.; Siqueira, J.O.; Moreira, F.M.S. & Soares, A.L.L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:621-632. 2008.

Dick RP, Breakwell DP, Turco RF. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran JW, Jones AJ, (editors). Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America; 1996. p.247-72.

Ernani, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes / Paulo Roberto Ernani – 2. Ed. – Lages: O autor, 2016. p. 45 – 117.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23:991-996. 1999.

Ghini, R.; Mendes, M.D.L.; Bettiol, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **S. Phyto**. v.24, p.239-242. 1998.

JORIS, H. A. W.; FONSECA, A. F. da; ASAMI, V. Y.; BRIEDS, C.; BORSZOWSKI, P. R. GARBUIO, F. J. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em Latossolo vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica** V. 43, n. 1, p. 1-10, 2012.

Liu, G.; Simonne, E. H.; Li, Y. Nickel Nutrition in Plants. Horticultural Sciences, UF/IFAS Extension. Original publication date June 2011. Reviewed: February 2014.

Ladeira, F. S. B. A ação antrópica sobre solos nos diferentes biomas brasileiros – Terras indígenas e solos urbanos. Entre – Lugar, Dourados, MS, 2012. n. 6, p 127 – 139.

Marenco, R. A.; Lopes, N. F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral/ Ricardo Antônio Marenco, Nei F. Lopes. 3 ed., atual, ampl. – Viçosa, MG, Ed. UFV, 2013. 486 p.

Mc Grath, S. P. Chromium and nickel In: Alloway, B.J (Ed.) Heavy metals in soils. London: Blackie Academic and Professional Publishers, 1995. p. 152-178.

Melo, W.J.; Melo, G.M.P.; Bertipaglia, L.M.A.; Melo, V.P. Experimentação sob condições controladas. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 82p.

Melo, G. M. P.; Melo, V. P.; Melo, W. J. Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola. 98p. Acesso em 14.03.2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/CB5F6214/LODOMETAL.pdf>.

MOREIRA, F. M. S. Microbiologia e bioquímica do solo / Fátima Maria de Souza Moreira, José Oswaldo Siqueira.- 2 ed. Atual. – ampl.- Lavras: Editora UFLA, 2006, 729 p.

Nascimento, C.W.A.; Barros, D.A.S.; Melo, E.E.C., Oliveira, A.B. alterações químicas em solos e crescimento De milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 385-392. 2004.

Oliveira, S. M. de; Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo sob a adição de composto orgânico e palha de café. [Dissertação], Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2012.

Oliveira, K. B.; Nascimento, G. M.; Brizola, D. C.; Oliveira, T. B. M.; Almeida, A. M. R.; Oliveira, M. C. N. Análise de atividade microbiana do solo em diferentes

sistemas de manejo e profundidades pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína. In: IX Jornada Acadêmica da EMBRAPA Soja, 2014. Londrina/PR. Resumos expandidos. EMBRAPA SOJA. 2014. p. ISSN 2176-2937. 2014.

Pacheco, L.; Costa, R.; Cunha, P.; Wisintainer, C. Atividade microbiana do solo sob plantio direto e incorporado com diferentes palhadas e épocas de aplicação de nitrogênio. **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 6, 54-58. 2016.

Perkins, H.F. A rapid method of evaluating the zinc status of coastal plain soils. **Commun. Soil Science and Plant Nutrition**. Anal. 1, 35–42. 1970.

Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlan, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo - (Boletim Técnico, 100). 2. ed., Revisada e Atualizada. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p.

Reis, T. C. **Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl<sub>2</sub> e biossólido**. 2002. 105p. Tese (Doutorado), Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

Schuner J, Rosswall T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**. 43:1256-61. 1982.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. Journal Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

Sousa, F. A.; Silva, E. B.; Campos, A. T.; Gandini, A. M. M.; Corrêa, J. M.; Graziotti, P. A. Atividade microbiana e produção da lavoura cafeeira após adubação com dejetos líquidos de suínos. **Bioscience Journal**. Uberlândia, July/Aug. v. 30, n. 4, p. 1041-1049. 2014.

Trannin, I. C. B; Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1173-1184. 2007.

UGARTE, O. M.; ALFARO, M. R.; ÁLVAREZ, A. M.; ÁLVAREZ, J. E.; ACCIOLY, A. M. de A.; NASCIMENTO, C. W. A. do. El níquel em suelos y plantas de cuba. **Cultivos Tropicales**, Vol. 36, n. especial. P. 27-35. 2015.

USGS – United States Geological Survey. Science foi a changing world. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/> acesso em 11/09/2017.

### **CAPÍTULO 3 - Sorgo granífero cultivado em solo contaminado com diferentes doses de nitrato de níquel (II) e óxido de níquel (III) – (experimento I)**

Resumo - O níquel (Ni) é um elemento essencial às plantas, pois participa de processos bioquímicos importantes, além de regular a entrada de elementos com características químicas semelhantes. Entretanto, o excesso de Ni pode ser tóxico às plantas. Nesse sentido, os objetivos com este trabalho foram: verificar se a adição de duas fontes de níquel, em três doses, afeta as quantidades de Cu, Zn, Mn e Mg em plantas de sorgo e seus efeitos na produtividade. As fontes utilizadas foram  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , nas doses de 35, 70 e  $140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico, no qual foi realizada calagem e fertilização para todos os tratamentos. Em cada vaso foram colocadas três plantas de sorgo previamente produzidas em areia, com posterior desbaste, sendo deixada apenas uma planta por vaso. A umidade foi ajustada para 70% da capacidade de retenção de água e mantida com regas periódicas. Também foram realizadas adubações de cobertura. Foram realizadas análises nas folhas diagnose, planta inteira (parte aérea e raízes) e grãos, e também no solo. Os resultados mostraram que, o  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  interferiu na absorção dos elementos pela planta, provavelmente devido às quantidades disponíveis serem maiores que no tratamento com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . O que também contribuiu para a quantidade de Ni na planta. Para a folha diagnose a adição de Ni na forma de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  proporcionou concentração de Cu inferior ao  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Ainda na folha diagnose Zn e Mg apresentaram menores concentrações na dose de  $140 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para a planta inteira o tratamento com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  proporcionou concentração de Mn inferior ao  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Já as doses promoveram aumento gradativo do Zn e diminuição da concentração de Mn na dose de  $140 \text{ mg kg}^{-1}$ . O tratamento controle apresentou maior produtividade comparado aos tratamentos com as fontes  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , e doses utilizadas.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, níquel em plantas, interações metal-planta.



CHAPTER - Grain sorghum contaminated with different doses of nickel (II)  
nitrate and nickel oxide (III)

Summary -nickel (Ni) is an essential element for plants because it participates in important biochemical processes, as well as to regulate the entry of elements with similar chemical characteristics. However, the excess of Ni may be toxic to plants. In this sense, this work objectives were: to verify that the addition of two sources of nickel in three doses, affects the amounts of Cu, Zn, Mn and Mg in sorghum plants and its effects on productivity. The sources used were  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , at doses of 35, 70 and 140  $\text{mg kg}^{-1}$  of Ni. The soil used was the distrófic red Latosol, in which shooting was held and fertilization for all treatments. In each pot were placed three sorghum plants previously produced in sand, with further thinning, being left only one plant per pot. The moisture was adjusted to 70% water-holding capacity and maintained with regular watering. Fertilization were carried out also. Analyses were performed on the leaves, whole plant diagnosis (shoot and roots) and grain, and also on the ground. The results showed that,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  interfered in the absorption of the elements by the plant, probably because the quantities available are greater than in the treatment with  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . What also contributed to the amount of Ni in the plant. To diagnose the addition of Ni in Ni form  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  provided Cu concentration lower than  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Still on Zn and Mg diagnosis showed lower concentrations in dose of 140  $\text{mg kg}^{-1}$ . For the entire plant treatment with  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  Mn concentration below the provided  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ . Already promoted gradual increase in doses of Zn and Mn concentration decreased at a dose of 140  $\text{mg kg}^{-1}$ . The control treatment showed the highest productivity compared to treatment with Ni sources  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , and doses used.

Key words: Sorghum bicolor, nickel in plants, metal-plant interactions

## Introdução

A presença de metais pesados no solo, pode ser devida a fontes naturais e/ou a fontes antropogênicas. De uma maneira geral, os metais estão presentes no solo em concentrações que dependerão do seu material de origem, do grau de desenvolvimento do solo e, normalmente as concentrações encontradas não são altas. Entretanto, atividades como a mineração, agricultura, disposição de resíduos e deposição atmosférica podem elevar as concentrações de metais pesados no solo (SILVA et al., 2016; VINHAL-FREITAS et al., 2010).

O níquel (Ni) é um metal pesado que tem como fonte natural, as rochas ígneas, principalmente, as ultramáficas. Pode ser adicionado ao solo por meio da aplicação de fertilizantes fosfatados, calagem e lodo de esgoto; por deposições atmosféricas decorrentes da queima de combustíveis fósseis e pela disposição de resíduos de atividades industriais (MACEDO, 2016; UGARTE et al., 2015).

Considerado um elemento essencial, o níquel é cofator da enzima urease, ou seja, é componente da enzima, apresentando dois átomos de Ni na sua composição estrutural. A enzima urease por sua vez desdobra a ureia em amônia e dióxido de carbono, a escassez deste elemento pode ocasionar acúmulo de ureia nas folhas, causando efeito fitotóxico (MACEDO, 2016; REIS et al., 2014; SILVA, 2016).

Por outro lado, o níquel apresenta efeito tóxico quando em grandes concentrações. Nas plantas, o excesso de níquel pode causar distúrbios fisiológicos, diminuição da produção de sementes, diminuição da concentração de clorofila em folhas de café e milho, interfere na absorção de nutrientes e eleva a concentração do elemento nos grãos a níveis impróprios para o consumo (BERTON ET AL., 2006; QUEIROZ, 2012; MACEDO, 2016).

As plantas absorvem o níquel principalmente na forma de cátion bivalente ( $Ni^{2+}$ ) e também na forma de quelatos, nos quais o níquel está complexado por ligantes orgânicos e metalóforos. A forma e processo de

absorção são dependentes dos teores de Ni no solo, das propriedades do solo, tais como pH, conteúdo de matéria orgânica e argila, que têm grande influência na sua disponibilidade (REIS et al., 2014; UGARTE et al., 2015).

Após sua absorção, o Ni na forma iônica ou complexado com ácidos orgânicos ou aminoácidos, é deslocado via xilema. No floema, apresenta alta mobilidade, sendo redistribuído com rapidez quando há deficiência do elemento na planta (MACEDO, 2016). A concentração e acúmulo de metais na planta irão depender das concentrações disponíveis na solução do solo (MARQUES et al., 2000).

Aparentemente a absorção de níquel se dá pelos mesmos sítios ativos do  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ , o que pode ocasionar efeito interiônico de inibição competitiva. Com relação à nutrição das plantas, o Ni poderá reagir de diversos modos, dependendo do nutriente e espécie vegetal, podendo produzir efeitos antagônicos, sinérgicos e independentes, ou mesmo nenhum efeito (MACEDO, 2016; UGARTE et al., 2015).

As Interações entre elementos que fazem parte da nutrição de plantas, acontecem desde os processos que ocorrem na solução do solo, até o contato íon raiz e na planta (absorção, transporte, redistribuição e metabolismo), o que pode ocasionar um distúrbio nutricional (PRADO, 2008). Tais interações com o níquel são pouco elucidadas. Sendo assim, o objetivo com este trabalho foi verificar se a adição de duas fontes de níquel, em três doses, afeta as quantidades de Cu, Zn, Mn e Mg em plantas de sorgo e seus efeitos na produtividade do sorgo granífero.

## Material e métodos

### Delineamento experimental e local do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, em casa de vegetação situada na FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP (21°15'20"S, 48°10'02"W, 579 m de altitude).

Foram utilizadas 2 fontes de Ni [ $\text{Ni}_2\text{O}_3$  e  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ], em 3 doses, mais um tratamento controle, com 3 repetições para cada tratamento. O delineamento utilizado para a estatística foi o fatorial  $2 \times 3 + 1$ . As doses de Ni foram estabelecidas de acordo com os valores orientadores para solos no Estado de São Paulo (CETESB, 2001), considerando-se o valor de intervenção para solos agrícolas que é  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  Ni. Assim, foram definidas as seguintes doses: 35, 70 e  $140 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  solo + tratamento controle, que recebeu apenas fertilização mineral de acordo com Melo et al (1998).

A adubação foi realizada da seguinte forma: N (sulfato de amônio) 8 g; P (super fosfato simples) 28 g e K (cloreto de potássio) 4,17 g por vaso para todos os tratamentos. O delineamento adotado é apresentado a seguir:

- ❖ Controle - somente fertilização mineral;
- ❖ NN1 – Nitrato de níquel, dose de  $35 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo;
- ❖ NN2 - Nitrato de níquel, dose de  $70 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo;
- ❖ NN3 - Nitrato de níquel, dose de  $140 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo;
- ❖ ON1 - Óxido de níquel, dose de  $35 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo;
- ❖ ON2 - Óxido de níquel, dose de  $70 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo;
- ❖ ON3 - Óxido de níquel, dose de  $140 \text{ mg Ni kg}^{-1}$  de solo.

#### Detalhes da cultura

A planta teste deste experimento foi o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), pertencente à família Gramineae/Poaceae, híbrido BRS 330, que apresenta como características, tolerância ao alumínio presente no solo e resistência ao déficit hídrico. O porte da mesma permitiu sua condução em casa de vegetação até o final do ciclo (FIGURA 3.1).



Figura 3.1. Planta de sorgo em fase de panícula. Imagem da autora.

Para o plantio do sorgo, as sementes (FIGURA 3.2. A) foram postas a germinar em areia lavada, para posterior plantio em vaso (Figura 3.2. B, C e D).



Figura 3.2. Procedimento para obtenção de mudas de sorgo. (A): Sementes de sorgo BRS 330; (B, C e D): Desenvolvimento de sementes: plantio à germinação. Imagem autoral.

#### Caracterização e preparação das amostras de solo

Amostras de Latossolo Vermelho distrófico (LVd) foram coletadas no Município de Jaboticabal, SP, e submetidas a análise para avaliar o nível de fertilidade, obtendo-se os seguintes resultados: MO – 12 g dm<sup>-3</sup>; P<sub>resina</sub> – 8 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> - 0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> – 5,2; Ca<sup>2+</sup> – 9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> – 2 mmol<sub>c</sub>

$\text{dm}^{-3}$ ;  $\text{S-SO}_4^{2-}$  –  $7 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{H+Al}$  –  $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{SB}$  –  $12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{CTC}$  –  $26 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{V\%}$  - 46.

Tais amostras foram secas ao ar e à sombra, destorroadas, passadas em peneira com 5 mm de abertura de malha submetidas à calagem para elevação da saturação por bases a 70% (RAIJ et al. 1997) e fertilização mineral de acordo com Melo et al. (1998). As amostras assim obtidas foram utilizadas para o enchimento de 21 vasos.

### Condução do experimento

O solo de cada vaso foi removido e misturado com as respectivas fontes e doses de Ni, sendo então recolocado no seu local de origem. Seguiu-se o transplante para cada vaso, de 3 mudas de sorgo granífero, previamente produzidas (FIGURA 3.3. A). Após o transplante, os solos foram irrigados com água destilada de modo a atingir umidade equivalente a 70% da capacidade de retenção de água (CRA), e assim mantidos, por meio de pesagens periódicas e reposição da água evapotranspirada (FIGURA 3.3. B). Adubações de cobertura (FIGURA 3.3. C) foram realizadas de acordo com Melo et al. (1998).



Figura 3.3. Condução do experimento. (A) Plantio de sorgo, com mudas previamente produzidas; (B) Pesagem periódica para manter a umidade; (C) Adubação de cobertura em plantas de sorgo.

Quando as plantas atingiram altura de 15 cm, foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso, até o final do ciclo, de acordo com as recomendações para a cultura no Estado de São Paulo. As plantas cortadas foram depositadas na superfície de cada vaso (FIGURA 3.4. A, B), para

garantir que os nutrientes e o metal pesado por elas absorvidos, não fossem removidos do sistema (MELO et al., 1998). No final do ciclo da cultura, foi retirada uma amostra de solo de cada vaso para fins das análises químicas a serem realizadas.

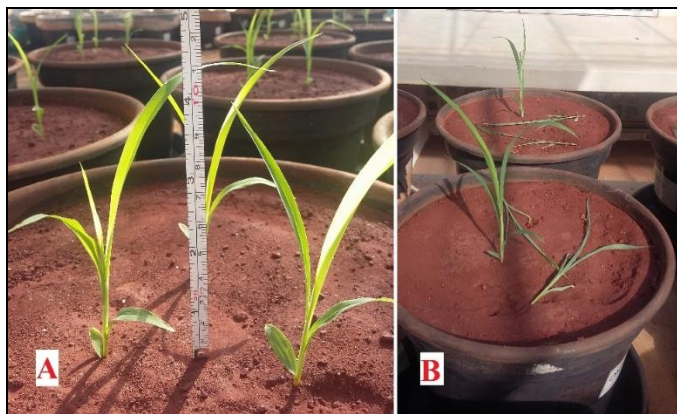


Figura 3.4. Plantas de sorgo em desenvolvimento. (A) Plantas com 15 cm; (B) Plantas cortadas e depositadas na superfície do solo.

A amostragem de plantas para diagnose de acordo com boletim 100 (RAIJ et al., 1997), se deu a partir do florescimento, utilizando o terço médio (sem a nervura central) das folhas de posição +3 e +4 a partir do ápice, com colar visível.

No final do ciclo da cultura, os grãos foram colhidos a fim de se determinar a produção das plantas e a concentração de Ni nos grãos, assim como na planta. Na mesma ocasião, as plantas foram cortadas rente ao solo, separadas em raízes, parte aérea da planta (colmo e folhas) e grãos, e posteriormente estocados.

Os vasos foram deixados por 3 ou 4 dias para que o solo perdesse a umidade, para prosseguir com a desmontagem do experimento, separando-se as raízes do solo. As amostras de plantas e raízes passaram por lavagem, secagem, foram pesadas, trituradas e reservadas em câmara fria para a segunda etapa do trabalho.

Preparo das amostras de raiz, parte aérea e grãos



As raízes foram lavadas com solução de HCl ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) de acordo com Gondim et al. (2010), para promover a hidrólise ácida, que retira Fe e outros componentes aderidos as mesmas.

Para a parte aérea e folhas diagnose foi utilizada uma solução de água + detergente neutro ( $1 \text{ mL L}^{-1}$ ), água corrente, água destilada e água desionizada. Após o processo de lavagem das raízes, parte aérea da planta e folhas diagnose, seguiu-se com a secagem, colocando-se as amostras em sacos de papel perfurados, em estufa com circulação forçada de ar, a  $50-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , até obtenção de massa constante.

Depois da secagem, as plantas foram pesadas e trituradas em moinho tipo Willey equipado com facas de inox e peneira de 40 mesh (FIGURA 3.5), também em inox, acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenadas em câmara seca até a realização das análises.



Figura 3.5. Moinho tipo Willey.

Os grãos também foram secos em estufa com circulação forçada de ar ( $50-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) até obtenção de massa constante, pesados e a umidade corrigida para 13%, sendo a produção expressa em massa. Em seguida, foram triturados e armazenados da mesma forma descrita para as folhas, colmo e raízes.



Análises químicas de plantas de sorgo: teores totais de elementos na planta e grãos

Foram determinados os teores dos seguintes elementos: Cu, Zn, Mn, Mg e Ni nas folhas diagnose e plantas de sorgo (parte aérea + raiz), além de Ni nos grãos de sorgo. Todas as amostras foram submetidas à digestão ácida com  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl}$  segundo metodologia 3050B - USEPA. No extrato obtido foi determinada a concentração de Cu, Zn, Mn, Mg e Ni por espectrofotometria de absorção atômica com chama.

Produtividade do sorgo granífero e análise estatística

O cálculo da produtividade foi baseado na massa dos grãos a 13% de umidade e como o experimento foi realizado em casa de vegetação os cálculos foram dimensionados para a área do vaso (FIGURA 3.8), que por sua vez produziu somente uma planta, diferindo assim, da produção à campo.

Os resultados foram submetidos à análise de variância segundo esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$  tratamento controle totalizando 7 tratamentos. Foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016), para análise de variância e teste F para resultados com significância  $<0,05$ .

Nas análises de variância em que o teste F foi significativo a 1 ou a 5% de probabilidade, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação de médias. Para a comparação da média do tratamento testemunha com a média de cada um dos demais tratamentos, foi utilizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

No solo, as concentrações de Ni pseudototal aumentaram de acordo com o aumento das doses das fontes de Ni, porém, não significando que este elemento esteja totalmente disponível para a planta, como pode ser visto na tabela 3.1. Os elementos químicos competem pelo sítio ativo dos coloides do solo. Essa competitividade de adsorção é estudada há tempos como pode ser

visto nos trabalhos de Basta e Tabatai (1992), Echeverria et al. (1980) e Kuo e Backer (1980) e varia de acordo com o tipo de solo e manejo.

O níquel adicionado na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  se manteve em sua maioria indisponível em decorrência das características do solo utilizado e da preparação deste para o experimento, com a utilização de calagem, que libera íons  $\text{OH}^-$  diminuindo a acidez do solo e aumentando a CTC efetiva (JORIS et al., 2012).

Atributos do solo como pH, CTC, matéria orgânica e teor de óxidos de Fe, Al e Mn influenciam na adsorção de elementos como o Cu, Zn e Ni, pois estes elementos têm maior adsorção em solos com tais características citadas (LOPES, 2009).

O níquel foi analisado no solo, no qual foram aplicados  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  e, em plantas de sorgo, de modo a comparar as médias e verificar possíveis interações. De uma maneira geral os tratamentos com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , apresentou maiores teores para o referido elemento, na folha diagnose, planta inteira (parte aérea e raiz), grãos e Ni total na planta (parte aérea, grãos e raiz) (Tabela 3.1)

Para a folha diagnose, que foi coletada a partir do florescimento, o tratamento com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  apresentou o teor de 10,88 a 12,27  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni e o tratamento com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  resultou em 5,80 a 7,30  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni, sendo que este resultado foi menor que o observado para o tratamento controle (Tabela 3.1). Na planta inteira (parte aérea + raiz) foram obtidos 14,95 e 14,91  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni nos tratamentos com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  - dose 1 e com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  – dose 3, respectivamente, enquanto o tratamento controle apresentou o menor teor de Ni na planta inteira que foi de 2,54  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni.

O solo com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  proporcionou aos grãos 4,35 a 8,31  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni (Tabela 3.1). Os menores teores foram observados no tratamento com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , sendo estes resultados, menores que o controle e limite de detecção do aparelho. Os maiores teores de Ni nas plantas e grãos tratados com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  se devem provavelmente as maiores quantidades disponibilizadas no solo, conforme mostra a tabela 3.1.

Tabela 3.1. Concentrações de níquel no solo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  e em planta, assim como, análise de variância do teor de Ni na planta.

Tratamentos	Solo		Planta			
	$\text{Ni}_{\text{pseudot.}}$	$\text{Ni}_{\text{disp.}}$	Ni-F.D.	Ni-P.I.	Ni- Grãos	$\text{Ni}_{\text{total Planta}}$
	-----mg kg <sup>-1</sup> de Ni -----					
Controle	31,07	0,27	8,43 b	2,54 d	6,069 bc	8,61 c
NN1	63,78	12,83	10,94 a	14,95 a	4,35 cd	19,30 ab
NN2	128,06	24,05	12,27 a	12,52 bc	8,31 a	20,84 a
NN3	191,96	51,84	10,88 a	11,92 c	6,98 ab	18,90 ab
ON1	83,38	1,30	7,30 bc	3,85 d	2,96 d	6,80 c
ON2	119,84	2,14	6,57 bc	10,67 c	<0,0018*	10,67 c
ON3	175,79	4,18	5,80 c	14,91 ab	2,39 d	16,51 b
DMS	-	-	2,44	2,40	1,98	3,93
CV %	-	-	9,86	8,45	16,03	9,69

F.D. – folha diagnose; P. I. – planta inteira. NNI, NN2, NN3 – adição de Ni na forma de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , nas doses 35, 70 e 140, respectivamente; ON1, ON2, ON3 - adição de Ni na forma de  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  nas doses 35, 70 e 140, respectivamente; Controle - sem adição de níquel. Limite de detecção do aparelho\*; Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente em Tukey a 5% de probabilidade

Para Ugarte et al. (2015), o conteúdo de Ni nas plantas depende de sua origem e das propriedades do solo. Os autores destacam que em cereais a quantidade de Ni varia de 0,34 a 14,6 mg kg<sup>-1</sup>. Neste experimento a concentração total de níquel nas plantas variou de 6,80 e 20,84 mg kg<sup>-1</sup> de Ni, variando de acordo com as doses utilizadas neste experimento.

Das fontes utilizadas no experimento, o  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  mostrou diferenças significativas para níquel e cobre, obtendo-se teores menores que os apresentados pelo tratamento com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  (Tabela 3.2).

Na interação fontes x doses houve significância de 5 e 1% para Cu e Zn, respectivamente, já na interação fatorial x controle apenas o teor de Ni não apresentou significância. Todos os resultados são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2. Resultados das análises de Ni, Cu, Zn, Mn e Mg na folha diagnose de plantas de sorgo cultivadas em solo contaminado por Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Fontes de Ni	Ni	Cu	Zn	Mn	Mg
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				g kg <sup>-1</sup>
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	11,36 a	21,58 a	53,35 a	215,44 a	6,03 a
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,55 b	17,37 b	51,01 a	214,83 a	5,68 a
Teste f	135,54 **	14,78 **	0,55 ns	0,0011 ns	0,51 ns
DMS (5%)	0,88	2,35	6,74	38,90	1,04
<b>Dose (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>					
35	9,12 a	19,33 a	60,34 a	173,70 b	6,82 a
70	9,42 a	20,07 a	50,18 b	247,17 a	5,56 ab
140	8,34 a	19,02 a	46,01 b	224,53 ab	5,18 b
Teste f	2,46 ns	0,32 ns	7,31 **	5,7256 *	4,13 *
DMS (5%)	1,32	3,51	10,08	58,17	1,56
Interação FxD	2,17 ns	5,18 *	16,79 **	0,0817 ns	1,26 ns
Fat. x cont.	0,94 ns	88,04 **	410,68 **	6,5189 *	33,71 **
Controle	8,43	33,07	136,55	276,46	9,60
M.F.	8,88	21,41	64,23	223,89	6,39
CV%	9,86	10,85	10,39	17,2	16,18

Ni – níquel; Cu – cobre; Zn – zinco; Mn – manganês; Mg – magnésio. ns – não significativo; \* significativo ao nível de 5%; \*\* significativo ao nível de 1%. F – fonte; D – dose; Fat – fatorial; M. F. média dos fatores.

Foi realizada a quantificação das concentrações de Ni, Cu, Zn, Mn e Mg na planta inteira, cultivada até o final do ciclo para verificar a absorção destes elementos pela planta, em decorrência das fontes e doses utilizadas neste experimento (Tabela 3.3).

Os teores de Ni e Mn mostraram diferenças significativas com relação às fontes utilizadas. O tratamento com Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resultou em teores de Ni e Mn menores em relação ao tratamento com Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. O aumento das doses de Níquel nas doses de 140 e 70 mg kg<sup>-1</sup> proporcionou aumento dos teores de Zn e Mn respectivamente.

Comparando-se os resultados da tabela 3.3, verifica-se que os teores de Cu e Mg foram maiores no tratamento controle. Sendo assim, podemos inferir que o níquel pode ter ocasionado a menor absorção desses elementos pela planta.

Tabela 3.3. Resultados das análises de Ni, Cu, Zn, Mn, Mg e produtividade da planta de sorgo cultivada em solo contaminado por Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Fontes de Ni	Prod. g planta <sup>-1</sup>	Ni -----mg.kg <sup>-1</sup> -----	Cu	Zn	Mn	Mg g.kg <sup>-1</sup>
Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	91,16 a	13,13 a	13,22 a	13,28 a	252,45 a	2,61 a
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,04 a	9,81 b	12,46 a	11,60 a	190,43 b	2,71 a
Teste f	0,28 ns	66,88 **	0,93 ns	0,85 ns	168,09 **	0,22
DMS (5%)	31,58	0,87	1,70	3,87	10,24	0,45
<b>Dose (mg kg<sup>-1</sup>)</b>						
35	62,95 b	9,30 c	13,88 a	9,34 b	215,66 b	2,88 a
70	123,61 a	11,59 b	12,25 a	11,89ab	241,52 a	2,66 a
140	98,74 ab	13,42 a	12,39 a	16,09 a	207,12 b	2,45 a
Teste f	5,70 *	32,74 **	1,72 ns	4,73 *	18,69 **	1,46
DMS (5%)	47,23	1,30	2,55	5,79	15,32	0,67
Interação F x D	2,49 ns	103,51 **	1,33 ns	3,97 *	3,24 ns	2,43
Fat. x controle	6,89 *	276,19 **	28,53 **	2,04 ns	92,97 **	3,32
Controle	146,31*	2,54**	18,46**	9,03 ns	160,43**	3,17 ns
Média dos	102,41	10,19	13,64	11,95	212,72	2,73
CV%	30,53	8,45	12,36	32,08	4,77	16,30

Prod. produtividade; Ni – níquel; Cu – cobre; Zn – zinco; Mn – manganês; Mg – magnésio. ns – não significativo; \* significativo ao nível de 5% tukey; \*\* significativo ao nível de 1%. F – fonte; D – dose; Fat – fatorial.

Segundo Marengo e Lopes (2013. p. 321), cobre, manganês e zinco formam quelatos com compostos produzidos pelas plantas ou por micro-organismos da rizosfera, para então serem absorvidos pelas plantas. Nesse caso, o Ni pode competir pelos mesmos sítios de ligação dos compostos.

Normalmente já ocorre antagonismo entre os elementos, pela competição de cátions bivalentes pelo mesmo carregador no sítio de absorção pelas plantas. Nesse sentido Santos et al. (2009) observou esse antagonismo entre cobre e zinco em experimento avaliando o efeito da aplicação de Cu e Zn no desenvolvimento e produção de plantas de sorgo produzidas em 3 classes de solo (Latosolo, Luvisolo e Neossolo). O que também pode ter ocorrido neste experimento.

As duas fontes de Ni utilizadas [Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>], não promoveram diferença significativa na produtividade da cultura, porém ambas diferiram do tratamento controle, que foi maior (TABELA 3.3 e GRÁFICO 3.1). Quanto às

doses utilizadas no experimento, houve diferenças significativas na dose de 70  $\text{mg kg}^{-1}$ , no teste f, com significância de 5%.

É possível que o antagonismo entre os elementos possa ter influência na produtividade, carecendo de avaliações mais apuradas para tal constatação.

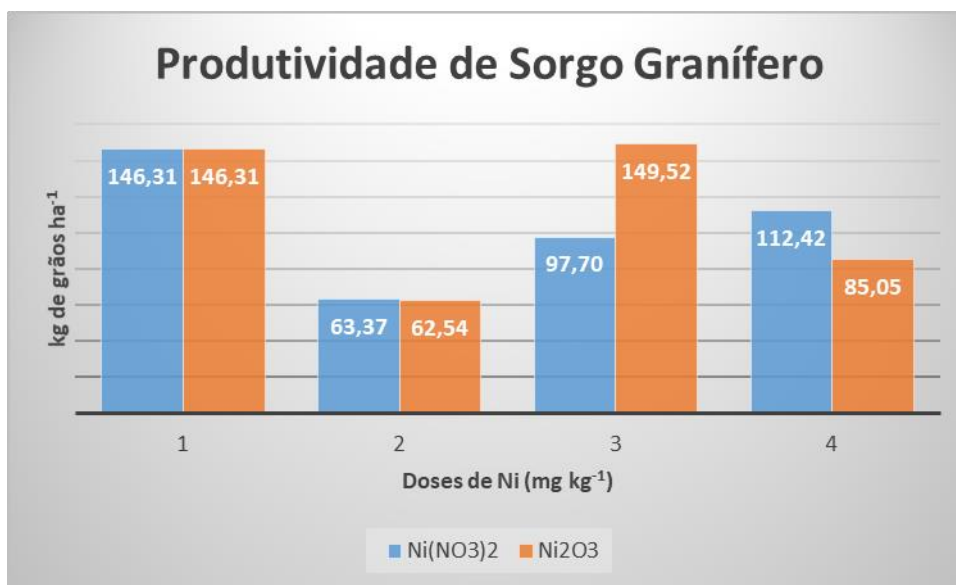


GRÁFICO 3.1. Produtividade do sorgo em função da aplicação de duas fontes [Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] de Ni. Doses 1, 2, 3 e 4 correspondem a 0, 35, 70 e 140  $\text{mg kg}^{-1}$ .

As pesquisas sobre os efeitos causados pelo elemento níquel, em solo e plantas, bem como suas interações com outros elementos, são pouco elucidadas, sendo necessário, estudos mais aprofundados acerca deste tema.

## Conclusões

1. A aplicação de níquel no solo cultivado com plantas de sorgo interferiu na absorção dos elementos Cu, Zn, Mn e Mg pelas plantas.
2. Houve maior absorção de Ni no tratamento com nitrato de níquel (II).
3. As doses influenciaram na quantidade de Ni que a planta absorveu, assim como, em alguns elementos analisados.
4. A produtividade do sorgo foi afetada pelas fontes e doses de Ni estudadas e, como consequência, obteve-se melhor resultado para o tratamento controle.

## Referências bibliográficas

BASTA, N. T.; TABATABAI, M. A. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: III competitive sorption. **Soil Science**, New Brunswick, v. 153, p. 331 – 336, 1992.

BERTON, R. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L. de; ABREU, C. A. de; AMBROSANO, E. J.; SILVEIRA, A. P. D. da. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1305-1312, ago. 2006

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001, 247p.

ECHEVERRÍA, J. C. MOREIRA, M. T.; MAZKIARAM, C.; GARRIDO, J. J. Competitive sorption of heavy metal by soils. Isotherms and fractional factorial experiments. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 101, p. 275 – 284, 1998.

EPA - 1996. Acid digestion of sediments, sludges, and soils – 3050B. Revision 2. Acesso em: 15/04/2015. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>

GONDIM, A. R. de O.; PRADO, R. de M.; ALVES, A. V.; FONSECA, I. M. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 536-544, Jul/ago, 2010.

JORIS, H. A. W.; FONSECA, A. F. da; ASAMI, V. Y.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; GARBUIO, F. J. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto.

KUO, S. BACKER, A. S. Sorption of copper, zinc and cádmium by some acid soils. **Soil Science Society of América Journal**, Madson, v. 44, n. 5, p 969 – 974, 1980.

LOPES, C. M. Adsorção individual e competitiva de Cd, Cu, Ni e Zn em solos em função da variação do pH. 2009 (Dissertação)/Cintia Masuco Lopes. – Piracicaba, 2009. 200 p.

MACEDO, F. G. de. **Disponibilidade de Ni no sistema solo-planta: efeito de doses e saturações por bases. 2016.** Tese (doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba – SP, 2016.

MARQUES, T. L. L. de S. e; MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 35. n 1. p. 121-132. Jan-2000.



MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição vegetal / Ricardo Antonio Marengo, Nei F. Lopes. 3. ed., atual. ampl. – Viçosa, MG, Ed. UFV, 2013. 486p.

MELO, W.J.; MELO, G.M.P.; BERTIPAGLIA, L.M.A.; MELO, V.P. Experimentação sob condições controladas. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 82p.

PRADO, R. de M. Nutrição de plantas / Renato de Melo Prado. São Paulo: Editora UNESP, 2008. p. 341 – 391.

QUEIROZ, C. de S. Níquel, outros micronutrientes e silício e a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na cultura da soja (*Glycine max*). (Dissertação de mestrado, área de concentração: área de concentração: Produção Vegetal) Universidade Federal de Goiás. Goiânia-GO, 2012.

ORLANDO FILHO, J.O.; BITTERN COURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C. BEAUCLAIR, E. G. F.; Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da Cana-de-açúcar. **STAB:Açúcar, álcool e subprodutos**. Piracicaba v. 14, n.5, p.13-17, 1996.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLAN, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo - (Boletim Técnico, 100). 2. ed., revisado e atualizado. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285p.

REIS, A. R. dos; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. de. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. Informações agronômicas. **International Plant Nutrition**, Nº 147. Set/2014. Acesso em (26/02/2017). Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/0A37B421DA0EA5F383257D660046D009/\\$FILE/Page10-24-147.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/0A37B421DA0EA5F383257D660046D009/$FILE/Page10-24-147.pdf)

SANTOS, H. C.; FRAGA, V. S.; RAPOSO, R. W. C.; PEREIRA, W. E. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. I. Crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.125–130, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n2/v13n02a03.pdf>> acesso em 07/02/2018.

SILVA, I. C. Crescimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de nitrogênio e níquel. (Dissertação de Mestrado) – Igor Cabreira da Silva. Programa de Agronomia – UNESP (Ilha Solteira, 2016) 73 p.

SILVA, L. S.; GALINO, I. C. de L.; NASCIMENTO, C. W. A. do; GOMES, R. P.; CAMPOS, M. C. C.; DE FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A. de. Heavy metal contentes in latosols cultivated with vegetable crops. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 46, n.4, p. 391-400. Out/Dec – 2016.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

UGARTE, O. M.; ALFARO, M. R.; ÁLVAREZ, A. M.; ÁLVAREZ, J. E.; ACCIOLY, A. M. de A.; NASCIMENTO, C. W. A. do. El níquel em suelos y plantas de cuba. **Cultivos Tropicales**, Vol. 36, n. especial. P. 27-35. 2015.

USGS – United States Geological Survey. Science foi a changing world. Disponível em: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/> acesso em 11/09/2017.

VINHAL-FREITAS, I. C.; MALDONADO, A. C. D.; ALVARENGA, C. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária Técnica** – v. 31, n. 2, p 153–163, 2010.

#### **CAPÍTULO 4 – Influência do níquel proveniente de plantas de sorgo contaminadas com $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $\text{Ni}_2\text{O}_3$ nas atividades biológicas e enzimáticas - (experimento II).**

Resumo - A biodegradação do material vegetal promove a ciclagem de nutrientes e elementos absorvidos pela planta. Nesse sentido o objetivo deste trabalho é avaliar a liberação de Ni pela biodegradação de plantas contaminadas com níquel, bem como a sua influência nas atividades biológica e enzimática. Neste experimento foi utilizado solo do tratamento controle do experimento I (sem adição de fontes de Ni), em vasos com capacidade de 3 kg. Os tratamentos utilizados foram: CABS – controle somente com solo; CONT - controle solo + plantas não contaminadas; NN – solo + plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e OX – solo + plantas contaminadas com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. O material vegetal foi triturado e incorporado ao solo, onde foi mantida umidade em torno de 70% da capacidade de retenção de água, por um período de 120 dias. Com as coletas sendo realizadas nos dias 0, 15, 30, 60 e 120 dias após a implantação do experimento, para avaliar o Ni extraível, carbono na biomassa microbiana e hidrólise do diacetato de fluoresceína, nos tratamentos com e sem plantas contaminadas e nos diferentes períodos. Os tratamentos NN e OX apresentaram menores teores de Ni, o CBM não foi afetado e o FDA foi menor em tratamento CABS. Com relação às coletas periódicas, o tempo foi benéfico para reter o Ni no solo. O CMB e FDA apresentaram melhores resultados para o período de 120 dias após a implantação do experimento. Portanto a degradação de material vegetal no solo, favorece a diminuição de metais pesados, e o aumento das atividades biológica e enzimática.

Palavras-chave: Atividade microbiológica, Biodegradação de plantas, Níquel no solo

CHAPTER - Degradation of contaminated plants with two sources of Ni in dystrophic Red Latosol. Influence of nickel on soil and on biological and enzymatic activity over time (0, 15, 30, 60 and 120 days) - (experiment II).

Abstract - The biodegradation of the plant material promotes the cycling of nutrients and elements absorbed by the plant. In this sense, the objective of this work is to evaluate the release of Ni by the biodegradation of plants contaminated with nickel, as well as its influence on biological and enzymatic activities. In this experiment the control treatment of experiment I (without addition of Ni sources) was used in pots with a capacity of 3 kg. The treatments used were: CABS - soil - only control; CONT - soil control + uncontaminated plants; NN - soil + plants contaminated with  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  and OX - soil + plants contaminated with  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . The design was completely randomized. The plant material was ground and incorporated into the soil, where humidity was maintained around 70% of the water retention capacity, for a period of 120 days. With the collections being performed on days 0, 15, 30, 60 and 120 days after the implantation of the experiment, to evaluate the available Ni, carbon in the microbial biomass and hydrolysis of the fluorescein diacetate, in the treatments with and without contaminated plants and in the different periods. NN and OX treatments had lower levels of Ni, CBM was not affected and the FDA was lower in CABS treatment. Regarding the periodic collections, the time was beneficial to retain the Ni in the soil. The CMB and FDA showed better results for the 120 day period after the experiment. Therefore the degradation of vegetal material in the soil, favors the decrease of heavy metals, and the increase of biological and enzymatic activities.

Keywords: Microbiological activity, Plant biodegradation, Nickel in soil

## Introdução

O solo é considerado um ecossistema, no qual estão incluídos os seres vivos e o ambiente com suas características e inter-relações. Sendo assim, nele há fatores bióticos e abióticos que atuam simultaneamente. Entendendo-se por fatores bióticos as populações de animais, plantas e micro-organismos e abióticos os fatores externos como a água, o sol, fatores físicos e químicos do solo e o vento (MOREIRA et al., 2013).

Algo que pode afetar os micro-organismos, são os metais pesados. Os metais pesados podem causar efeitos nocivos aos micro-organismos do solo, pois a microbiota consiste em um reservatório vivo da matéria orgânica que tem como papel principal ciclar os nutrientes. Quando há uma perturbação, como a toxicidade de metais pesados, ocorre a redução na biomassa microbiana, pois o micro-organismos empregam mais energia para mantê-los, resultando em uma maior respiração (BERTON et al., 2006).

No solo é possível encontrar muitos organismos com variadas funções no ambiente. Os micro-organismos tem relevada importância no que diz respeito à biodegradação de materiais orgânicos, pois são sistemas químicos autônomos e autopropagáveis, com grande diversidade morfológica, fisiológica e funcional, que podem converter uma forma de energia para outra, por meio do seu metabolismo (MOREIRA, 2006).

Os micro-organismos estão envolvidos em muitos processos que ocorrem no solo, dentre eles a decomposição. As atividades biológica e enzimática são responsáveis por grande parte da degradação do material orgânico depositado no solo.

O processo de decomposição é dependente da composição química inerente ao material que irá se decompor. Em plantas, os teores de lignina e polifenóis, assim como, as relações Carbono/Nitrogênio, Carbono/Fósforo, lignina/Nitrogênio e condições físico-químicas do solo, entre outros, influenciam nesse processo (CARVALHO, 2008; MOREIRA, 2006).

O material orgânico é decomposto pela atividade biológica do solo. Esse processo resulta na ciclagem biogeoquímica, que promove a realocação de elementos, de organismo vegetal ou animal para o solo (MOREIRA, 2006; PINTO, 2016).

Para a ciclagem de elementos é imprescindível a ação de agentes decompositores, macro e micro-organismos que usam o material orgânico como fonte de energia enquanto desempenham suas funções. A decomposição envolve ação de enzimas, por ser um processo biocatalítico (MOREIRA, 2006).

Nesse contexto as enzimas do solo, que tem origem nos macro e micro-organismos (plantas e animais), sendo a biomassa microbiana, sua fonte primária, têm grande importância, pois todas as atividades bioquímicas são dependentes ou relacionadas à presença de enzimas (MOREIRA, 2006).

Sendo assim, os objetivos com este trabalho foram: avaliar a liberação de níquel pela biodegradação de plantas de sorgo, cultivadas em solo contaminado com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , bem como a sua influência nas atividades biológica e enzimática do solo.

## Materiais e métodos

### Local do experimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, em casa de vegetação situada na FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP (21°15'20"S, 48°10'02"W, 579 m de altitude).

O delineamento experimental consta de 4 tratamentos, com coleta de solo em diversos períodos (0, 15, 30, 60 e 120 dias) e 5 repetições.

A planta de sorgo escolhida para a segunda etapa deste experimento foi, planta cultivada sem adição de fontes de níquel e planta cultivada com adição de fontes de níquel, sendo portanto, a que apresentou maior concentração de Ni na planta inteira (parte aérea + raiz), correspondendo ao tratamento com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e outra com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ , os vasos com e sem plantas contaminadas está representado a seguir (FIGURA 4.1), as plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e

$\text{Ni}_2\text{O}_3$  apresentam 13,51 e 17,01  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni respectivamente, já as plantas que não foram contaminadas com Ni, apresentam 2,15  $\text{mg kg}^{-1}$  de Ni.

❖ **CABS** – controle absoluto (somente solo do tratamento controle do experimento I);

❖ **CONT** – controle - solo do exp. I + plantas de sorgo do tratamento controle do experimento I; (foi utilizado 5,46 g de massa seca de sorgo).

❖ **NN** – solo do exp. I + plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  do experimento I; (foi utilizado 5,46 g de massa seca de sorgo).

❖ **ON** – solo do exp. I. + plantas contaminadas com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  do experimento I; (foi utilizado 5,17 g de massa seca de sorgo).



Figura 4.1. Experimento II montado. Fonte: imagem da autora.

#### Caracterização e preparação das amostras de solo

Para o enchimento dos vasos foi utilizado o solo do tratamento controle do experimento I (solo com calagem e fertilização mineral sem adição de níquel). Tal solo foi seco, destorroado e peneirado. Foram retiradas amostras para análise de fertilidade, sendo obtidos os seguintes resultados: MO – 6  $\text{g dm}^{-3}$   $\text{P}_{\text{resina}}$  – 88  $\text{mg dm}^{-3}$ ;  $\text{K}^+$  - 1,1  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  – 6,4;  $\text{Ca}^{2+}$  – 37  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  – 15  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; S- $\text{SO}_4^{2-}$  - 160  $\text{mg dm}^{-3}$ ; H+Al – 12  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; SB – 53  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; CTC – 65  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; V% - 81.

#### Condução do experimento

O solo de cada vaso foi revolvido e misturado com as plantas de sorgo, cultivadas em solo contaminado com duas fontes de Ni e então recolocado no seu local de origem (FIGURA 4.2 – A, B e C). Os solos foram irrigados com água destilada de modo a atingir umidade equivalente a 70% da capacidade de retenção de água (CRA) e assim mantidos, por meio de pesagens periódicas e reposição da água evaporada (MELO et al., 1998).



FIGURA 4.2. Procedimento para montagem da etapa II do experimento. (A) Material vegetal triturado do experimento I; (B) 1-2. Procedimento de homogeneização (matéria vegetal + solo); (C) Solo homogeneizado devolvido ao vaso.

A coleta de solo ocorreu em 0, 15, 30, 60 e 120 dias após a instalação do experimento, sendo retiradas 3 amostras simples de cada vaso (para formação de uma amostra composta), com a utilização de mini trado cilíndrico confeccionado para este fim (FIGURA 4.3), a amostragem foi realizada em profundidade e acondicionadas em sacos plásticos até o preparo das amostras para análises.





Figura 4.3. Materiais utilizados para coleta de solo. (A) Trado improvisado; (B) procedimento de coleta de solo.

#### Preparo das amostras de solo

Todas as amostras de solo foram secas ao ar e à sombra, destorroadas, passadas em peneiras com 2 mm de abertura de malha, acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenadas em câmara seca até o momento das análises.

#### Avaliações

##### a) Níquel extraível do solo

O método utilizado foi o mehlich-1 (BACKER e AMACHER, 1982; PERKINS, 1970), baseado na extração do metal com extrator ácido (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,125 mol L<sup>-1</sup>). A determinação da concentração de Ni extraível foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama.

##### b) Atividade biológica: carbono da biomassa microbiana (CBM)

O método utilizado para a determinação do carbono da biomassa microbiana, consistiu na irradiação-extração das amostras de solo com micro-ondas, de acordo com FERREIRA et al. (1999). Para tanto pesaram-se 10 g de solo de cada tratamento em erlenmeyer de 125 mL, sendo as amostras irradiadas com micro-ondas com cálculo da potência real do micro-ondas. Após esse processo conduziu-se à extração com 40 mL de solução de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5 mol L<sup>-1</sup>) por 30 min, em um agitador. Após o período de incubação as amostras

foram filtradas em papel de filtro qualitativo e tituladas com sulfato ferroso amoniacal (FIGURA 4.4).



Figura 4.4. Procedimento para quantificação do carbono na biomassa microbiana do solo. (1) Amostras de solo em erlenmeyer; (2) Procedimento de fumigação em forno micro-ondas; (3) Amostras de solo fumigadas e não fumigadas com solução de  $K_2SO_4$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ); (4) Agitação para extração; (5) Filtragem da solução com solo; (6) Banho-maria; (7) Titulação; (8) Amostras no ponto final da titulação (ponto de viragem do indicador do roxo para o verde).

A determinação direta do carbono orgânico foi feita com base na sua oxidação por solução ácida e quente de dicromato de sódio ou de potássio, em excesso, e na titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal, também designado de sal de Mohr,  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ .

c) Atividade enzimática: hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

Para a determinação do potencial de hidrólise do diacetato de fluoresceína, amostras de solo foram incubadas com e sem o substrato FDA em meio tamponado com tampão fosfato de sódio  $60 \text{ mmol L}^{-1}$ , pH 7,6; por 3 h a  $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Em seguida, a fluoresceína foi extraída e sua quantificação foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de  $490 \text{ nm}$ , para a determinação da quantidade de fluoresceína hidrolisada (SCHUNER; ROSSWALL, 1982) (FIGURA 4.5).



Figura 4.5. Procedimento de análise da hidrólise do diacetato de fluoresceína. (1) Amostras de solo com e sem o substrato FDA; (2) Filtragem de solução com amostra, após a incubação; (3) Leitura em espectrofotômetro.

#### Tratamentos dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância segundo esquema de parcelas subdivididas. Nesse sentido os tratamentos principais são: CONT; CABS; NN e ON. Os tratamentos secundários são as 5 épocas de amostragem.

Em todas as análises de variância, nos casos em que o teste F foi significativo a 1 ou 5% de probabilidade, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias. Foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA et al., 2016), para análise de variância e teste F para resultados com significância de  $< 0,05$ .

## Resultados e discussão

O níquel extraível resultou em maiores concentrações nos tratamentos CABS e CONT que não foi utilizado plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . Mostrando a eficiência de imobilização do metal nos tratamentos que se utilizou plantas de sorgo contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  (Tabela 4.1). Provavelmente o material vegetal adicionado ao solo, ao se decompor, proporcionou a imobilização do Ni no solo.

A decomposição de material orgânico adiciona ao solo compostos humificados, os chamados ácidos fúlvicos e ácido húmicos, que são constituídos por grupamentos carboxílicos e fenólicos que imobilizam metais pesados e os tornam indisponível (MARTINS et al., 2011). Necessitando estudos mais aprofundados para verificar a localização do elemento.

De acordo com os tratamentos apenas a atividade enzimática da hidrólise do diacetato de fluoresceína mostrou diferenças. No tratamento CABS houve menor atividade enzimática (TABELA 4.1). Provavelmente por falta de material vegetal no solo, que provavelmente influenciou esta atividade.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína é catalisada por um grupo de enzimas (proteases, lipases e esterases), liberadas por decompositores primários (bactérias e fungos ativos), sendo um bom indicador de atividade total dos decompositores do solo (MOREIRA, 2006).

Na avaliação da época de amostragem a concentração de níquel extraível, foi maior no período de 15 dias do experimento, diminuindo de forma não uniforme no decorrer do tempo.

As avaliações biológica e enzimática resultaram em melhores valores no último período de amostragem 60 e 120 dias, em comparação ao 0 dia após a instalação do experimento (TABELA 4.1.), mostrando que o tempo é imprescindível para a atuação dos micro-organismos no material vegetal.

Segundo MOREIRA (2006), a biomassa microbiana é a parte da matéria orgânica constituída pelos organismos vivos.

TABELA 4.1. Níquel extraível e atividade biológica/enzimática em solo com plantas de sorgo contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  e em diferentes períodos de amostragem.

Níquel extraível, atividade biológica e enzimática			
	Ni disp	CBM	FDA
	mg.kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	f mg kg <sup>-1</sup> s h <sup>-1</sup>
<b>Tratamentos com plantas</b>			
CABS	0,054 a	0,02230 a	9,9662 b
CONT	0,048 ab	0,02178 a	23,4572 a
NN	0,032 b	0,02088 a	24,6114 a
ON	0,036 b	0,02343 a	24,8997 a
DMS	0,0168	0,00354	2,00
Teste f	5,84**	1,48 ns	211,59 **
CV%	48,76	19,77	11,95
<b>Época de amostragem</b>			
0	0,033 c	0,01670 d	8,21 e
15	0,059 a	0,02005 c	11,28 d
30	0,026 c	0,02276 bc	22,38 c
60	0,054 ab	0,02462 ab	29,54 b
120	0,040 bc	0,02638 a	32,25 a
DMS	0,0179	0,00291	2,29
Teste f	9,44**	27,16 **	344,35 **
Interação Trat x EA	1,99**	3,65 **	16,99 **
Média dos fatores	0,042	0,022	20,73
CV%	47,54	14,84	12,45

CABS – controle absoluto (somente solo do tratamento controle do experimento I); CONT – controle - solo do exp. I + plantas de sorgo do tratamento controle do experimento I; NN – solo do exp. I + plantas contaminadas com  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  do experimento I; ON – solo do exp. I + plantas contaminadas com  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  do experimento I. EA – época de amostragem.

Os tratamentos CABS e CONT, não apresentaram diferenças significativas em relação à concentração de níquel, para os períodos de

amostragem estudados. Por outro lado, os tratamentos com plantas contaminadas (NN e OX), apresentaram valores baixos de concentração de níquel, estando abaixo do limite de detecção do aparelho, para amostras com 30 dias após a instalação do experimento (TABELA 4.2.).

TABELA 4.2. Desdobramento da interação de tratamentos com degradação de plantas dentro da época de amostragem e seus efeitos.

Tratamentos com plantas	Época de amostragem (dias)				
	0	15	30	60	120
	-----mg kg <sup>-1</sup> Ni-----				
CABS	0,042 a	0,064 a	0,056 a	0,060 a	0,046 a
CONT	0,038 a	0,060 a	0,048 a	0,058 a	0,042 a
NN	0,038 a	0,056 a	<LD b	0,052 a	0,038 a
OX	0,014 a	0,056 a	<LD b	0,046 a	0,038 a
DMS (5%)	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
CV %	1,99 ns	0,18 ns	11,05**	0,48 ns	0,24 ns

CABS – controle absoluto (somente solo); CONT – controle solo + plantas não contaminadas; NN – Solo + plantas contaminadas com Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; OX – Solo + plantas contaminadas com Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,000 - <LD; DMS – diferença mínima significativa; CVns. Não significativo.

A época de amostragem foi essencial para a degradação das plantas de sorgo contaminadas com Ni, tais tratamentos apresentaram diferenças significativas com relação ao tempo. Aos 30 dias após a instalação do experimento os tratamentos NN e OX apresentaram resultados de concentração de níquel menores que o limite de detecção do método (TABELA 4.3.). Voltando a aparecer nos demais períodos amostrados.

Aos 30 dias há uma eficiência do processo de complexação química entre as frações húmicas com o Ni immobilizando-o. Porém a decomposição de resíduos de plantas somente se estabiliza a partir dos 60 dias, portanto os resíduos adicionados ao solo, não estavam estabilizados e poderiam voltar a aparecer no sistema, como ocorreu neste experimento.

Crusciol et al., (2008), explica que a liberação do elemento poderá ser rápida e intensa ou lenta e gradual, isso dependerá do próprio elemento, da sua interação com a planta, umidade, aeração, temperatura atividade biológica, composição química da planta e tipo de solo. Para tanto são necessários

análises mais específicas afim de definir com mais propriedade a dinâmica do níquel na decomposição de plantas de sorgo.

TABELA 4.3. Desdobramento da interação de tratamentos de época de amostragem x efeito da degradação de plantas na concentração de níquel.

Época de amostragem	Tratamentos com degradação de plantas			
	CABS	CONT	NN	OX
	-----mg kg <sup>-1</sup> Ni-----			
0	0,042 a	0,038 a	0,014 bc	0,038 a
15	0,064 a	0,060 a	0,056 a	0,056 a
30	0,056 a	0,048 a	<LD c	<LD b
60	0,060 a	0,058 a	0,052 a	0,046 a
120	0,046 a	0,036 a	0,038 ab	0,042 a
DMS (5%)	0,036	0,036	0,036	0,036
CV%	1,06 ns	1,49 ns	7,23**	5,62**

EA – época de amostragem

A degradação de plantas devolve ao solo, nutrientes e elementos absorvidos pelas plantas e no caso de cátions metálicos como o Ni. Como foi visto neste trabalho. É importante verificar se a planta vai devolver ao solo, metais pesados por ela absorvidos, no caso de plantas acumuladoras, não é ideal que este elementos voltem para o solo, onde podem causar contaminação.

## Conclusões

1. As plantas contaminadas imobilizam melhor o níquel, comparadas aos demais tratamentos sem adição de plantas contaminadas.
2. A adição de plantas de sorgo contaminadas ou não resultou em melhores teores de fluoresceína hidrolisada.
3. O período de amostragem influenciou o CBM e o FDA, conferindo ao período de 60 e 120 os melhores resultados para estas análises.



## Referências bibliográficas

BAKER, D.E., AMACHER, M.C., 1982. Nickel, copper, zinc, and cadmium. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*. American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI, 1982. p. 323 – 336.

CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; ALCANTARA, F. A. de; RESCK, I. S.; LEMOS, S. de S. Decomposição de resíduos vegetais e efeito sobre o carbono, nitrogênio e fósforo em Latossolo. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, 1º ed. - 225. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, Nov-2008. 24 p.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. NOTA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:991-996. 1999.

MARTINS, C. A. da S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. de O. A dinâmica de metais-traço no solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p.383-391, jul-set, 2011.

MELO, W.J.; MELO, G.M.P.; BERTIPAGLIA, L.M.A.; MELO, V.P. Experimentação sob condições controladas. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 82p.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R. B.; STURMER, S. L. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal/editores, Fátima M. S. Moreira, Juvenil E. Cares, Ronald Zanetti, Sidney L. Sturmer.- Lavras: Ed. UFLA, 2013. Cap 1, p. 15.

MOREIRA, F. M. S. Microbiologia e bioquímica do solo / Fátima Maria de Souza Moreira, José Oswaldo Siqueira.- 2 ed. Atual. – ampl.- Lavras: Editora UFLA, 2006, 729 p.

PERKINS, H.F. A rapid method of evaluating the zinc status of coastal plain soils. **Commun. Soil Science and Plant Nutrition**. Anal. 1, 35–42. 1970.

PINTO, V. S. Decomposição e liberação de nutrientes e resíduos vegetais em sistemas agroflorestais, no sul do estado de Espírito Santo/Vinicius Souza Pinto.-(dissertação de mestrado). UFV, Viçosa-MG, 2016. 44p.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740. 2016.

SCHUNER J, ROSSWALL T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**. 43:1256-61. 1982.