



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**POTENCIAL DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA ATENUAÇÃO DE  
CONTAMINAÇÃO POR COBRE DE SOLO E ÁGUA**

**NATHALIA SPROVIERI CIPOLETA**

**Araras**

**2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**POTENCIAL DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA ATENUAÇÃO DE  
CONTAMINAÇÃO POR COBRE DE SOLO E ÁGUA**

**NATHALIA SPROVIERI CIPOLETA**

**ORIENTADOR: PROF. Dr. MARIA LEONOR R. C. LOPES-ASSAD**

**COORIENTADOR: PROF. Dr. JOÃO EDUARDO ADDAD**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de **MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2017

Cipoleta, Nathalia Sprovieri

Potencial de resíduos orgânicos na  
atenuação de contaminação por cobre de solo e  
água / Nathalia Sprovieri Cipoleta - 2018.

73 f.: 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientadora: Maria Leonor R. C. Lopes-  
Assad

Banca examinadora: Maria Leonor R. C.  
Lopes-Assad, Anastácia Fontanetti, Ângela  
Simone Freitag Lima

Bibliografia

1. Agricultura alternativa. 2. Calda  
bordalesa. 3. Leonardita. I. Orientador. II.  
Universidade Federal de São Carlos. III.  
Título.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

---

**Folha de Aprovação**

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Nathalia Sprovieri Cipoleta, realizada em 08/06/2017:

---

Prof. Dra. Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad  
UFSCar

---

Prof. Dra. Anastacia Fontanetti  
UFSCar

---

Prof. Dra. Angela Simone Freitag Lima  
USP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais e irmão, que estiveram ao meu lado em todas as minhas decisões e indecisões.

À minha orientadora, Professora Dr<sup>a</sup> Maria Leonor R. C. Lopes-Assad, por seu apoio e amizade, além de sua dedicação, competência e especial atenção nas revisões e sugestões, fatores fundamentais para a conclusão deste trabalho. Por todo o suporte nos momentos difíceis e de dúvidas e por me manter no caminho até aqui, onde com certeza eu não teria chegado sem ela.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anastácia Fontanetti e à Dr<sup>a</sup> Ângela Simone Freitag Lima, membros da banca avaliadora, por toda a paciência, pelas sugestões de melhoria do texto e pela atenção em todo o processo de avaliação.

Ao Instituto de Pesquisas Científicas da Universidade Católica de Santos e à toda a sua equipe, que me recebeu para desenvolvimento do experimento, sempre com muita atenção. À Malta, amigos que foram e são mais do que amigos. São suporte nos momentos difíceis, sempre com palavras de incentivo e carinho. Ao *EB Fierce* pelo ano de trabalho incansável, pela dedicação, paciência e ajuda, mesmo com tantas coisas acontecendo ao mesmo tempo.

A todos os professores, alunos e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural da Universidade de São Carlos e à Cris, secretária do programa, sempre ajudando e apoiando todos os alunos.

Um agradecimento especial à AIESEC, organização que me proporcionou experiências que eu jamais poderia ter vivido em outro lugar. Desde o dia que comecei a trabalhar até 04/04/2018, quando me despedi da Nicarágua depois de 10 meses de uma imersão em outro mundo, tive a oportunidade de viver e ver o impacto do meu trabalho todos os dias. Esta é uma oportunidade que poucas pessoas têm e, nesses quatro anos de trabalho intenso, eu pude vivenciar. Eu pude ver e escutar de muitas pessoas o quanto é possível sim fazer mais, que é possível mudar a realidade em que vivemos. Obrigada, AIESEC, pela oportunidade de poder ser voluntária, obrigada pela oportunidade de trabalhar por algo muito maior do que eu e meus anseios.

Obrigada por me mostrar o que tem do outro lado do muro e me fazer uma pessoa melhor e mais consciente do meu papel. Obrigada AIESEC em Santos e *AIESEC en Nicaragua* por me tirarem da minha bolha e me ensinarem a pensar mais além daquilo que estamos acostumados.

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 SISTEMAS AGROECOLÓGICOS: ORIGEM E PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS UTILIZADOS</b> .....	16
2.1 Introdução .....	16
2.2 Contexto histórico .....	17
2.3 As reações à agricultura com base em insumos industriais.....	19
2.4 Agricultura no Brasil: um pouco de história .....	22
2.5 Agricultura orgânica brasileira.....	24
2.6 Insumos alternativos para fertilização e condicionamento de solos.....	26
2.7 Insumos fitossanitários alternativos .....	30
2.8 Potencial contaminante do cobre no solo .....	33
<b>3. EFEITO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA ATENUAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR COBRE DE CALDA BORDALESA</b> .....	37
3.1 Introdução .....	37
3.2 Material e Métodos.....	39
3.2.1 Análise do percolado.....	39
3.2.2 Análise do solo .....	42
3.3.1 Análise do percolado.....	44
3.3.2 Análise do solo .....	48
3.3.3 Balanço de teores de cobre .....	51
3.4 Conclusões .....	54
<b>5 LITERATURA CITADA</b> .....	58
<b>APÊNDICE</b> .....	71
Apêndice 1. Estatística descritiva dos dados de concentração de Cu nas amostras de percolado.....	72

Apêndice 2. Estatística descritiva dos dados de concentração de Cu extraído por ácido fraco e forte. ....	73
---	----



## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resumo das correntes de agriculturas alternativas. ....	21
<b>Tabela 2.</b> Teor de Cu percolado, removido por meio de ácidos fraco (vinagre) e forte (nítrico), não removido e porcentagem do total não removido de Latossolo Vermelho argiloso tratado com diferentes doses de fibra de coco (FC), bokashi (BO) e leonardita (LE), após aplicação de 60 mL de calda bordalesa contendo 152,7 mg L <sup>-1</sup> de cobre, em 47 dias de experimento. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema de montagem dos tubos de PVC para ensaios de lixiviação..... 41
- Figura 2.** Pesagem do material de solo (A); adição do solo ao tubo de PVC (B); conjunto amostral (C); adição de fibra de coco ao solo (D); adição de bokashi e leonardita ao solo (E); calda bordalesa (F); conjunto de amostras de percolado armazenados em vidros âmbar (G)..... 43
- Figura 3.** Concentração de cobre (Cu), em  $\text{mg L}^{-1}$ , medida em água percolada em Latossolo Vermelho argiloso, que recebeu calda bordalesa (CB) e: (A) com 3%, 6% e 9% de fibra de coco (FC); (B) 150, 300 e 450  $\text{g m}^{-2}$  de bokashi (BO); e (C) 1, 2 e 3  $\text{g kg}^{-1}$  de leonardita (LE)..... 45
- Figura 4.** Concentração total de cobre (Cu), em  $\text{mg L}^{-1}$ , no percolado de Latossolo Vermelho argiloso, tratado com fibra de coco (3%, 6% e 9%), bokashi (150, 300 e 450  $\text{g m}^{-2}$ ) e leonardita (1, 2 e 3  $\text{g kg}^{-1}$ ), que receberam 60 mL de calda bordalesa em três doses e 162 mL de água destilada em nove doses, durante 47 dias. .... 47
- Figura 5.** Quantidade de cobre (Cu), em  $\text{mg L}^{-1}$ , extraída de Latossolo Vermelho argiloso com (A) fibra de coco, (B) bokashi e (C) leonardita, por meio de um ácido fraco (vinagre) e um ácido forte (ácido nítrico), ao longo de 47 dias. .... 49

## RESUMO

### POTENCIAL DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA ATENUAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR COBRE NO SOLO

**Autor: NATHALIA SPROVIERI CIPOLETA**

**Orientador: Prof. Dr. MARIA LEONOR R. C. LOPES-ASSAD**

**Coorientador: Prof. Dr. JOÃO EDUARDO ADDAD**

O agravamento dos problemas ambientais tem estimulado a discussão sobre novas formas de se produzir no campo. O termo agricultura alternativa abrange sistemas não convencionais de agricultura, tais como sistema natural, ecológico, biodinâmico, permacultura, biológico, orgânico e agroecológico. Além dos insumos orgânicos para fertilização e condicionadores do solo, as culturas produzidas em sistemas alternativos também necessitam de produtos naturais para combate de parasitas e doenças de plantas. Metais pesados como arsênio, cobalto, cobre, chumbo e zinco, que ocorrem como impurezas em nesses produtos, podem alcançar níveis indesejáveis e provocar contaminação de solo, água e sedimentos. A calda bordalesa é um fungicida composto por uma mistura de sulfato de cobre penta hidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e cal virgem ( $\text{CaO}$ ) e é legalizado para uso em sistemas alternativos de agrícola, mas pode aumentar os teores de cobre (Cu) no solo e afetar a qualidade do solo e da água. Objetivou-se com este trabalho i) avaliar o potencial de contaminação de solo e água por cobre contido em produtos fitossanitários usados em sistemas alternativos; ii) avaliar a retenção de Cu, em solo argiloso adubado com resíduo e condicionadores orgânicos; e iii) estimar o potencial de contaminação de solo e águas. O potencial de contaminação por cobre foi avaliado a partir de uma revisão bibliográfica focada em artigos, dissertações e teses publicados, com foco em sistemas de produção da agricultura alternativa. A retenção de Cu e seu potencial de contaminação de solo e água foram avaliados por meio de ensaio em laboratório, usando tubos de PVC preenchidos com solo argiloso tratados com três tipos de materiais (Bokashi,

fibra de coco e leonardita, em três doses de calda bordalesa. O ensaio durou 47 dias e foram realizadas amostragens regulares do percolado. Ao final do experimento, foi determinado o teor de Cu retido no solo. Os resíduos e os condicionadores orgânicos, em todas as doses testadas, retiveram no solo mais de 55% do Cu aplicado, mesmo após extração com ácido forte. O Bokashi apresentou a menor concentração de Cu no percolado ( $0,621 \text{ mg L}^{-1}$ ) e as menores concentrações retidas no solo, após extração com ácido fraco (68,4% na menor dose) e com ácido forte (59,9% na maior dose). A leonardita apresentou a maior concentração de Cu no percolado (1,4% na maior dose) e as maiores concentrações retidas no solo, após extração com ácido fraco (98,2% na dose média) e com ácido forte (94,1% na menor dose). Conclui-se que a leonardita, material rico em substâncias húmicas, tem alto poder de adsorção de Cu e pode ser útil em sistemas de produção orgânica para atenuar a contaminação dos solos e da água com Cu.

**Palavras-chave:** Agricultura alternativa; calda bordalesa; leonardita; Bokashi; fibra de coco.

## ABSTRACT

### POTENTIAL OF ORGANIC MATERIALS TO ATTENUATE COPPER SOIL CONTAMINATION

**Author: NATHALIA SPROVIERI CIPOLETA**

**Advisor: Prof. Dr. MARIA LEONOR R. C. LOPES-ASSAD**

**Co-advisor: Prof. Dr. JOÃO EDUARDO ADDAD**

The aggravation of environmental problems has stimulated discussion about new ways of producing in the field. The term alternative agriculture covers non-conventional agricultural systems, such as natural, ecological, biodynamic, permaculture, biological, organic and agroecological systems. In addition to organic inputs for fertilization and soil conditioners, crops grown in alternative systems also require natural products to combat pests and plant diseases. Heavy metals such as arsenic, cobalt, copper, lead, and zinc, which occur as impurities in these products, can reach undesirable levels and cause contamination of soil, water, and sediments. The Bordeaux mixture is a fungicide composed of hydrated copper sulphate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) and quicklime ( $\text{CaO}$ ) and is legalized for use in alternative agricultural systems, but may increase copper (Cu) contents in the soil and affect soil and water quality. The objective of this work was to evaluate the soil and water contamination potential of copper contained in the Bordeaux mixture; ii) to evaluate the retention of Cu in clay soil fertilized with waste and organic conditioners; and iii) estimate the potential for soil and water contamination. Copper contamination potential was evaluated based on a literature review focused on articles, dissertations and theses published, focusing on alternative agricultural production systems. The retention of Cu and its soil and water contamination potential were evaluated by means of a laboratory test using clay tubes filled with clay soil treated with three types of organic materials (Bokashi, coconut fiber, and leonardite) in three doses of Bordeaux mixture. The test lasted 47 days and regular percolate

samplings were performed. At the end of the experiment, the content of Cu retained in the soil was determined. Residues and organic conditioners, in all tested doses, retained more than 55% of the applied Cu, even after extraction with strong acid. Bokashi presented the lowest concentration of Cu in the percolate ( $0.621 \text{ mg L}^{-1}$ ) and the lowest concentrations retained in the soil, after extraction with weak acid (68.4% in the lowest dose) and with strong acid (59.9% in the highest dose). Leonardite showed the highest concentration of Cu in the percolate (1.4% in the highest dose) and the highest concentrations retained in the soil, after extraction with weak acid (98.2% in the medium dose) and with strong acid (94.1% in the lowest dose). It is concluded that leonardite, a material rich in humic substances, has high Cu adsorption capacity and may be useful in organic production systems to mitigate contamination of soils and water with Cu.

**Keywords:** Alternative agriculture; Bordeaux mixture; leonardite; Bokashi; coconut fiber.

## 1 INTRODUÇÃO

A agroecologia se caracteriza por combinar conhecimentos científicos com saberes populares e tradicionais, provenientes das experiências de agricultores, comunidades indígenas e camponesas. Sistemas de produção de base agroecológica têm por objetivo utilizar tecnologias que respeitam a natureza e alteram minimamente o equilíbrio entre os organismos e o ambiente, visando desenvolver e otimizar a integração da produção, utilizar e conservar a biodiversidade e os demais recursos naturais, com eficiência econômica e justiça social (FARIA, 2014; SILVA; SILVA, 2016).

Apesar do crescente interesse pelos sistemas de produção agroecológicos, tanto do meio científico, quanto dos campos governamental e educacional e dos movimentos sociais, ainda restam várias lacunas no conhecimento sobre alternativas eficientes e acessíveis aos produtores rurais em substituição aos insumos industriais, cujo consumo intenso marca a chamada Revolução Verde. Kitamura (2003), discutindo a agricultura sustentável no Brasil, apontava duas alternativas distintas, mas complementares: a contínua introdução de inovações na chamada agricultura intensiva, tornando-a cada vez mais responsável em termos ambientais e de saúde pública; e o rápido crescimento da agricultura orgânica e de outros sistemas agroecológicos.

Em sistemas agroecológicos, insumos orgânicos são utilizados nas culturas para substituir os insumos industriais, tanto no enriquecimento nutricional do solo agricultável, como no controle de pragas e doenças. A conversão de sistemas agrícolas convencionais para agroecossistemas sustentáveis compreende pelo menos três níveis: redução do uso de insumos externos convencionais; substituição de insumos convencionais por insumos alternativos; e redesenho do agroecossistema para que funcione com base em processos ecológicos (GLEISSMANN, 2000).

Porém, identificação de insumos orgânicos comerciais se dá muitas vezes por meio de termos vagos como 'composto que contem carbono'. Essa caracterização não é suficiente para assegurar que os compostos utilizados não trazem riscos à saúde e ao ambiente. Existem hoje insumos classificados como orgânicos, preparados à base de metais como cobre ou outros elementos, que podem se acumular no solo, gerando um ambiente contaminado em função de doses frequentes, particularmente quando a utilização dos mesmos não é fiscalizada.

O solo é um dos fatores que interferem em um sistema de produção, com papel de fornecer suporte físico, água e nutrientes para as plantas (LIMA et al., 2006). A aplicação de resíduos orgânicos é importante para a saúde do solo, pois promove a ciclagem e a biodisponibilidade de nutrientes, e contribui para a melhoria de suas condições físicas e biológicas com a incorporação de matéria orgânica (SILVA et al., 2006). Porém, nos sistemas agrícolas, a concentração no solo de metais como cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb) e manganês (Mn), pode aumentar (MENDES et al., 2010) devido à aplicação de fungicidas (ARIAS et al., 2004), fertilizantes (MENDES et al., 2010) ou resíduos orgânicos (OGIYAMA et al., 2005).

O monitoramento da qualidade do solo através de seus atributos físicos e químicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas. As condições monitoradas nesses processos contribuem para ajustar o manejo de solo e água visando a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e do ambiente, proporcionando uma melhor relação entre o homem e o ambiente, com redução do uso dos recursos naturais e da degradação ambiental (BEUTLER et al., 2001). Alguns produtos podem reter ou liberar com maior facilidade materiais contaminantes ou excedentes no solo e ou na água. Portanto, o



monitoramento é essencial para avaliar a saúde ambiental do sistema em fase de transição agroecológica já que, na maior parte dos casos, esse ambiente sofreu anos de degradação pelo cultivo convencional.

Os alimentos orgânicos possuem menores níveis de resíduos de agrotóxicos, já que, por lei, não são permitidos nos cultivos alternativos. Porém, de acordo com Borguini e Torres (2006), a falta de dados sobre a presença de resíduos químicos em alimentos orgânicos não permite que sejam formuladas conclusões definitivas para estabelecer alguma diferença entre alimentos orgânicos e convencionais. Ou seja, o fato de ser uma produção alternativa que utiliza materiais orgânicos não garante uma produção 100% segura. Assim, a substituição de insumos constitui ainda hoje um dos desafios para os sistemas de produção orgânica. Faltam estudos que avaliem a viabilidade e qualidade dos insumos tidos como orgânicos e utilizados nos sistemas alternativos. Muitos deles são elaborados com resíduos que podem conter contaminantes como patógenos e metais pesados.

A presente dissertação partiu da constatação que insumos usados em sistemas agroecológicos podem conter metais pesados os quais podem ter sua ação de contaminação atenuada pelos compostos orgânicos usados na fertilização do solo. Assim, no primeiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica de alguns dos diferentes insumos usados na agricultura alternativa e seu potencial de contaminação por metais pesados, com foco no cobre. Visando construir um quadro compreensível das agriculturas alternativas, neste capítulo discute-se inicialmente um pouco da história da agricultura, com foco na chamada Revolução Verde e nos movimentos alternativos que surgiram no início do século XX. Em seguida, é apresentado um experimento desenvolvido em laboratório para avaliar a retenção de cobre em solo argiloso adubado com resíduo e condicionadores orgânicos e estimar o potencial de contaminação de solo e água. Nas considerações finais é enfatizada a necessidade de estudos aprofundados para que se possa construir sistemas de produção que são realmente seguros ao ambiente a curto, médio e longo prazos.

## **2 SISTEMAS AGROECOLÓGICOS: ORIGEM E PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS UTILIZADOS**

### **2.1 Introdução**

O objetivo deste capítulo é avaliar alguns dos produtos fitossanitários utilizados em sistemas agroecológicos. Na sua construção, fez-se um levantamento bibliográfico sobre o tema e constatou-se a grande diversidade de produtos que vêm sendo usados. Considerando os objetivos desta dissertação, foram selecionados insumos orgânicos que são usados para fertilização e condicionamento de solos e alguns produtos naturais para combate de parasitas e doenças das plantas. Este recorte teve por objetivo dar suporte às discussões que serão feitas no capítulo três sobre os resultados obtidos em experimento conduzido em laboratório.

Visando construir um quadro compreensível dos desafios da agricultura sustentável, discute-se inicialmente as transformações que os sistemas agrícolas sofreram ao longo do tempo, particularmente após a segunda revolução industrial que levou a uma ruptura entre cultivos e criação de animais.

Considera-se aqui que os sistemas agroecológicos priorizam a qualidade do produto, a redução de impactos e de contaminação de solo e água e a melhoria da saúde de todos os organismos presentes no agroecossistema. Mas é necessário

avaliar e monitorar a qualidade do solo e da água nesses sistemas, principalmente na fase de transição agroecológica. Isto porque, muitas vezes o sistema de cultivo convencional foi feito durante muitos anos com uso intensivo de insumos industriais, nos quais resíduos de agrotóxicos e de nitratos são frequentemente detectados (GOMES; BARIZON, 2014).

## 2.2 Contexto histórico

A agricultura como conhecemos hoje é consequência de transformações que ocorreram nos sistemas de produção agrícola desde que, há cerca de 10 ou 12 mil anos antes de nossa Era, o homem deixou de ser caçador e coletor e tornou-se agricultor. Essa passagem não se deu de forma repentina, nem ocorreu ao mesmo tempo em todas as regiões do mundo, conforme salientam Mazoyer e Roudart (2010).

Entre 10.000 e 5.000 anos antes de nossa Era, algumas dessas sociedades neolíticas tinham, com efeito, começado a semear plantas e manter animais em cativeiro, com vistas a multiplicá-los e utilizar-se de seus produtos. Nessa mesma época, após algum tempo, essas plantas e esses animais especialmente escolhidos e explorados foram domesticados e, dessa forma, essas sociedades de predadores se transformaram por si mesmas, paulatinamente, em sociedades de cultivadores...Essa passagem da predação à agricultura, ou seja, a revolução agrícola neolítica, foi sem dúvida, como enfatiza V. G. Childe (1983)<sup>1</sup>, “a primeira revolução que transformou a economia humana” (MAZOYER E ROUDART, 2010, pg. 70).

Do Neolítico até a Idade Média os produtos da agricultura eram destinados à alimentação. O modelo atual de agricultura tem sua origem nas grandes transformações econômicas, técnicas e demográficas que ocorreram na Europa a partir do século XVII. Azevedo (2017) aponta que, a partir do final da Idade Média, os produtos da agricultura passaram a ser também mercadorias, sendo ou não alimentos, para atender às necessidades da nascente expansão mercantil. Tem-se aqui o que é considerada a Primeira Revolução Agrícola.

---

<sup>1</sup>V. G. Childe (1983). *Man makes himself*. New York: New American Library, 185 p.

O século XIX trouxe novos avanços tecnológicos que permitiram o desenvolvimento dos fertilizantes químicos, o melhoramento genético e a expansão dos motores de combustão. Essa evolução tecnológica marcou a Segunda Revolução Agrícola, onde a produção animal e vegetal, antes totalmente integradas, começou a se afastar progressivamente, já que os insumos de uma não eram mais necessários para o desenvolvimento da outra (EHLERS, 1994).

Foi nessa época que o sistema agrícola que conhecemos hoje começou a se desenvolver e se espalhar por todo o mundo. Foram de grande importância os estudos de Justus von Liebig (1803-1873), químico alemão que postulava que o aumento da produção agrícola seria diretamente proporcional à quantidade de substâncias químicas incorporadas ao solo e que a resposta das plantas dependeria da quantidade mínima disponível de cada elemento químico necessário ao seu crescimento (Lei do Mínimo). Os trabalhos de Liebig se opunham à chamada teoria hùmica, baseada na visão aristotélica de que a nutrição dos vegetais se dava através das raízes, que absorvem do solo partículas infinitamente pequenas constituídas, em grande parte pelo mesmo material das plantas (EHLERS, 1996). O modelo humista vigorou, portanto por cerca de quatro mil anos.

As pesquisas de Liebig, causaram impacto no mundo científico, em função do antagonismo entre humistas e quimistas. Mas as consequências de suas pesquisas foram maiores no setor produtivo, industrial e agrícola.

Elas abriram um amplo e promissor mercado: o de fertilizantes "artificiais". Com estes produtos muitos agricultores foram reduzindo, ou mesmo abandonando, a criação de animais e as rotações de culturas com plantas forrageiras que tinham, até então, um papel fundamental na alimentação animal e nos processos de fertilização orgânica dos solos, principalmente através das plantas leguminosas (EHLERS, 1994, p. 16).

Durante a primeira metade do século XX, e impulsionadas por várias descobertas científicas e tecnológicas, ocorreram várias mudanças na agricultura e na produção de insumos agrícolas. Paralelamente, a ciência agrônômica também avançava, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, pesquisando e potencializando o emprego dessas inovações. No Brasil, a ciência agrônômica surgiu na segunda metade do século XIX, com a criação em 1859, do Imperial

Instituto Baiano de Agricultura. Posteriormente surgiram a Imperial Escola de Medicina Veterinária e de Agricultura Prática, de Pelotas (RS), em 1883; o Instituto Agrônomo de Campinas (SP), em 1887; a Escola Agrícola Prática Luiz de Queiroz em Piracicaba (SP), em 1901; a Escola Superior de Agricultura de Lavras, em 1908; e em 1922, a Escola de Agricultura e Veterinária de Viçosa.

As duas grandes Guerras Mundiais impulsionaram uma série de avanços tecnológicos que foram adaptados para a produção de substâncias tóxicas às pragas e doenças (EHLERS, 1994). Do fim da Segunda Guerra Mundial até o início dos anos 1970, o mundo, e em particular os países desenvolvidos, vivenciou quase três décadas de crescimento econômico forte e constante.

Conforme salienta Romeiro (1996), nesse período, as regras ecológicas básicas de gestão da natureza passaram a ser vistas como desnecessárias à prática agrícola, considerando-se que o caráter ambientalmente agressivo da então chamada agricultura moderna era um mal necessário, que podia ser moderado com algumas práticas conservacionistas. Esse processo atingiu seu ápice com o advento da chamada Revolução Verde, que tem como precursor Norman Ernest Borlaug, agrônomo estadunidense.

Por meio de seus trabalhos com melhoramento genético, Borlaug e seus seguidores se propunham a solucionar o problema da fome mundial, com uso de variedades melhoradas, com potencial produtivo superior ao dobro do das variedades tradicionais, que apresentavam melhor resposta a elevadas doses de fertilizantes (HENRIQUES, 2009). Entre 1950 e 1984, a produção alimentar dobrou e a disponibilidade de alimento por habitante aumentou em 40% (ASSIS, 2005). Mas, conforme aponta Altieri (2012), a Revolução Verde gerou vários impactos negativos, como marginalização de um grande número agricultores que não podiam arcar com os custos das tecnologias propostas, perda de diversidade pela substituição de sementes crioulas e aumento dos riscos de perdas pois as culturas geneticamente uniformes se mostraram mais suscetíveis a pragas e doenças.

### **2.3 As reações à agricultura com base em insumos industriais**

Na década de 20 surgiram, quase que simultaneamente, movimentos contrários à adubação química e que valorizavam o uso da matéria orgânica e

práticas culturais favoráveis aos processos biológicos. As alternativas se configuravam como um conjunto de correntes dissidentes do modelo de agricultura originado nos trabalhos pioneiros de Justus von Liebig (EMBRAPA, 2006). Ehlers (1994) agrupa esses movimentos em quatro grandes vertentes.

Na Europa tem-se a **agricultura biodinâmica**, iniciada por Rudolf Steiner em 1924; a **agricultura orgânica**, cujos princípios foram fundamentados entre os anos de 1925 e 1930 pelo pesquisador inglês Sir Albert Howard e disseminados, na década de 40, por Jerome Irving Rodale nos E.U.A.; e a **agricultura biológica**, inspirada nas ideias do suíço Hans Peter Müller e mais tarde difundida na França por Claude Aubert. A outra vertente, a **agricultura natural**, surgiu no Japão a partir de 1935 e baseava-se nas ideias de Mokiti Okada (EHLERS, 1994, p. 37)<sup>2</sup>.

O termo agricultura alternativa só foi surgir em 1977, quando foi publicado um relatório conhecido como “The Dutch Report on Alternative Agriculture” produzido pelo Comitê para Pesquisa de Métodos Biológicos de Agricultura, patrocinado pelo Ministério da Agricultura e Pesca da Holanda (BOERINGA, 1980). O termo englobava o conjunto das vertentes apontadas por Ehlers (1994) e algumas das suas variações como a Agricultura Ecológica, Agricultura Orgânica, Agricultura da Natureza, Teoria da Trofobiose, Permacultura, Agricultura Regenerativa, entre outras (Tabela 1). Todas elas baseiam-se na sustentabilidade do sistema, buscando o uso eficiente da energia e reduzir a dependência de recursos externos (ALENCAR et al., 2013).

Em 1962, a publicação do livro *Primavera Silenciosa*, da bióloga norte-americana Rachel Louise Carson, provocou um forte debate sobre o uso de pesticidas e, apesar da oposição da indústria química, dez anos depois o uso do DDT e de outros pesticidas foi banido nos Estados Unidos. Ainda em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) organizou em Estocolmo a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, na qual pobreza e poluição foram apontadas como principais efeitos da falta de planejamento na utilização de recursos naturais.

---

<sup>2</sup>Adaptado.

**Tabela 1.** Resumo das correntes de agriculturas alternativas.

Corrente	Ano	Autor	Princípios
Agricultura Biodinâmica	1924	Rudolf Steiner	A interação entre a produção animal e a produção vegetal; o respeito ao calendário biodinâmico, a utilização de preparados biodinâmicos; medidas de proteção do agrossistema
Agricultura ecológica	1928	K. H. W. Klages	Publica "Crop ecology and ecological crop geography in the agronomic curriculum" onde afirma que para compreender as complexas relações entre a agricultura e os ecossistemas deve-se levar em conta os fatores fisiológicos e agrônômicos que influenciam a distribuição e adaptação de culturas de determinadas espécies. Em 1941, ampliou a definição incluindo os componentes históricos, tecnológicos e socioeconômicos que caracterizam os diferentes ambientes, como determinantes para a produtividade das lavouras.
Agricultura Biológica	1930	Hans Peter Müller	Uso de fontes de matéria orgânica provenientes do campo ou da cidade, incorporação de rocha moída ao solo. Interação da propriedade agrícola com as atividades socioeconômicas regionais.
Agricultura Orgânica	1935	Albert Howard	Não utilização de insumos químicos como fertilizantes, pesticidas, reguladores de crescimento e aditivos para alimentação animal. Publicou em 1935 "Manufacture of Humus by Indore process" e, em 1940, "An Agricultural Testament", referências sobre o modelo orgânico.
Agricultura Natural	1935	Mokiti Okada	Purificar o espírito e, da mesma forma, os alimentos produzidos sem produtos químicos tóxicos seriam capazes de purificar o corpo.
Agricultura da natureza	1935	Masanobu Fukuoka	As atividades agrícolas devem respeitar as leis da natureza e exercer a mínima intervenção no ambiente e nos processos naturais.
Teoria da Trofobiiose	1969	Francis Chaboussou	Apresenta sua Tese que aponta que mais importante do que combater as pragas é "tratar" as plantas malnutridas e doentes.
Permacultura	1975	Bill Mollison e David Holmgren	Publicado o livro <i>Permaculture One</i> , no qual descrevem a permacultura como um sistema integrado de espécies animais e vegetais perenes ou que se perpetuam naturalmente e são úteis aos seres humanos.
Agricultura Regenerativa	1983	Robert Rodale	Regenerar e manter a produção agrícola, comunidades rurais e consumidores.

Adaptado de BOERINGA (1980) e EHLERS (1994).

Em 1987, foi lançado o documento Nosso Futuro Comum (“Our Common Future”), conhecido como Relatório Brundtland, que definia as bases do desenvolvimento sustentável e apontava várias medidas e metas para a implantação do novo modelo de desenvolvimento, focado em sustentabilidade. Nesse documento, aponta-se que o desenvolvimento sustentável é “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. A década de 1990 foi assim marcada pelo aumento do debate sobre os problemas ambientais e início de uma maior consciência da sociedade para o meio ambiente. Nessa década também aumentaram as organizações ligadas à produção ecológica, o número de produtores e a produção em si (ABREU et al., 2009).

#### **2.4 Agricultura no Brasil: um pouco de história**

Único país no mundo que leva o nome de uma árvore, o Brasil começou sua história econômica traficando árvore (PRADO JÚNIOR, 2012).

Espalhada por larga parte da costa brasileira, e com relativa densidade, observou-se uma espécie vegetal semelhante a outra já conhecida no Oriente, e de que se extraía uma matéria corante empregada na tinturaria. Tratava-se do pau-brasil, mais tarde batizado cientificamente com o nome de *Caesalpinia echinata* ... com ou sem direitos, o certo é que até quase meados do séc. XVI, encontraremos portugueses e franceses traficando ativamente na costa brasileira com o pau-brasil. (PRADO JÚNIOR, 2012, p.25)

De meados de 1500 a 1960, fora o ciclo do ouro e das pedras preciosas, a agricultura dominou a economia nacional, principalmente com a exportação de cana de açúcar, cacau, borracha, algodão e café. A título de exemplo, e considerando o ano de 1930, quando segundo Sorj (2008) se iniciou a transferência do eixo de acumulação do setor agrícola exportador para o setor industrial, o Brasil produziu 68,7 mil toneladas de cacau, 318 mil toneladas de algodão, 1,6 milhão de toneladas de café e 17,6 milhões de toneladas de cana (IBGE, 1990). Em 1960, o Brasil possuía pouco mais de 70 milhões de habitantes, dos quais 54,9% era considerada população rural; dez anos depois, a população total já alcançava 94,5 milhões, dos quais 41,5 milhões (44%) eram rurais (SORJ, 2008). Nesse ano, a produção de



cacau foi de 163 mil toneladas, café 4,17 milhões de toneladas e cana 56,9 milhões de toneladas (IBGE, 1990). Até fins da década de 1920, parte importante da produção agrícola se voltava para o mercado interno; a partir de meados de 1960, com o desenvolvimento do complexo agroindustrial, a agricultura passou a se reestruturar, seja como consumidora de insumos e máquinas, seja como produtora de matéria-prima para a sua transformação industrial (SORJ, 2008).

Com o avanço do novo modelo agrícola e estratégias de desenvolvimento econômico, o país se tornou uma potência na produção de alimentos, fibras e biocombustíveis e importante exportador de soja, açúcar, café, laranjas, aves, carne e, mais recentemente, etanol (SPOSITO, 2016). Seguindo os rumos da Revolução Verde, a agricultura no Brasil entrou em um processo de modernização, com novas formas de exploração agrícola que transformou tanto a agricultura quanto a pecuária, devido ao aumento no país da demanda de alimentos e produtos agrícolas e ao modelo baseado no uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos (FARIA, 2014).

Porém, esse sistema de cultivo agrícola em larga escala foi sendo, cada vez mais, uma atividade de alto impacto ambiental, abrindo a discussão de novos parâmetros para se pensar novas formas de se produzir no campo. Consequências como o aumento do desmatamento e mau uso dos solos, erosão, processos de desertificação, perda de diversidade e muitos outros estão cada vez mais evidentes no ambiente agrícola (FARIA, 2014).

Apesar de todos os problemas, a modernização da agricultura no Brasil permitiu um aumento da produção entre 1920 e 1970. Esse aumento está associado ao aumento de números de estabelecimentos agrícolas, à expansão das áreas cultivadas e aos investimentos para a melhoria na criação animal. Outro ponto que influenciou na produtividade das culturas foi o aumento dos insumos usados no processo produtivo. No período 1920 - 1970 aumento do uso de fertilizantes inorgânicos foi de 1234,2%, o de inseticidas, 233,6%, o de fungicidas, 548,5%, o de herbicidas, 5414,2% e o de tratores, 398,1% - enquanto o aumento de produtividade das principais culturas foi da ordem de 4,5% ao ano (PASCHOAL, 1983).

As primeiras discussões sobre o movimento ecológico no Brasil nasceram a partir de questões relacionadas à conservação da natureza, que não

necessariamente estavam diretamente ligadas à produção agrícola. As primeiras práticas de agricultura ecológica começaram nos anos 70 com agricultores vistos como inovadores (EMBRAPA, 2006). Esse movimento ecológico surgiu como um contra movimento às políticas de modernização agrícola excludentes, que provocaram uma reação em grupos de famílias agricultoras que não receberam os benefícios provenientes do crédito agrícola, emergindo uma forte discussão sobre equidade e justiça social. Assim, a agricultura de base ecológica no Brasil ganhou um significado social, enquanto na Europa e outros países, é caracterizada como uma crítica ao consumo (BRANDENBURG, 2002).

Nos anos 80 aconteceram os Encontros Brasileiros de Agricultura Alternativa (EBAA), em 1981 na cidade de Curitiba (PR), em 1984 em Petrópolis (RJ) e em 1987 em Cuiabá (MT) e Porto Alegre (1989), que promoveram a mobilização e organização de grupos de agricultores ecológicos, organizações de agricultura ecológica, pesquisadores e representações políticas (EMBRAPA, 2006; ABREU et al., 2009). Nessa mesma época, ressurgiram movimentos alternativos nos Estados Unidos e Europa (SPOSITO, 2016).

Como consequência dos EBAA's, foi criado o Projeto de Tecnologias Alternativas (PTA) que, em conjunto com a Federação dos Órgãos para Assistência Social e Econômica (FASE), tem como objetivo centralizar as organizações de agricultores alternativos. Com essa organização, foi criado a Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), que ajudou o movimento de agricultores alternativos a articular as redes de organizações em vários estados brasileiros (ABREU et al., 2009).

Nesse momento abriram-se novas perspectivas para a agricultura, com o fortalecimento do conceito de desenvolvimento sustentável (FARIA, 2014). Os movimentos que surgiram a partir de então são chamados de agricultura alternativa e englobam um conjunto de movimentos alternativos que não utilizam insumos e produtos industriais (FARIA, 2014).

## **2.5 Agricultura orgânica brasileira**

No Brasil, a agricultura orgânica é normatizada pela Lei 10.831 (BRASIL, 2003) que estabelece conceitos e finalidade de um sistema de produção orgânico, e

estabelece alguns parâmetros em relação à certificação, inspeção e fiscalização da produção. Conforme salienta Thomson (2015), a definição oficial de agricultura orgânica inclui diversos estilos de agricultura de base ecológica como agricultura natural, biodinâmica, permacultura, sistemas agroflorestais, sistemas de regeneração, entre outros. Assim, hoje existem vários estilos de produção agrícola que fornecem produtos denominados de orgânicos, desde que atendam à Lei 10.831. Enquadram-se nesse conjunto tanto aqueles estilos de produção que visam somente à substituição de insumos (químicos por orgânicos) até aqueles que consideram as diferentes dimensões da sustentabilidade, como a agroecologia (SPOSITO, 2016).

O modelo de produção orgânica foi implantado no Brasil no início da década de 1970, quando ocorriam processos de discussão sobre os impactos causados pela agricultura convencional (ALENCAR et al., 2013). Inicialmente, a adoção da agricultura orgânica no Brasil foi lenta, mas vem crescendo no Brasil, impulsionada pela demanda de um mercado que busca alimentos produzidos sem agrotóxicos.

De acordo com o Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2012), dos 5.175.636 estabelecimentos agropecuários recenseados, apenas 1,8% utilizavam agricultura orgânica e desses, pouco mais de 5% eram certificados. Com base em dados de 2014 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Munhoz et al. (2016) apontam que a área total com produção orgânica no Brasil era, em 2013, de 1,8 milhão de hectares aproximadamente, manejada por 6.719 produtores em mais de 10.000 unidades produtivas, e era encontrada em todos os estados brasileiros, com destaque para Mato Grosso (622.000 ha), Pará 602.000 (ha), Amapá, com (132.000 ha), Rondônia (36.000 ha) e Bahia (25.000 ha) (MUNHOZ et al., 2016).

As áreas de agricultura orgânica são pequenas quando comparadas ao total de áreas cultivadas no Brasil. Porém, esse sistema apresenta um crescimento anual estimado em 30%, podendo fazer com que no futuro exista uma maior participação deste setor no mercado de alimentos. Apesar do crescimento, a produção orgânica no Brasil ainda é considerada um nicho de mercado e é explorada basicamente por agricultores familiares que são responsáveis por 83% dos estabelecimentos orgânicos brasileiros (SILVA; SILVA, 2016; SPOSITO, 2016). Estes enfrentam vários desafios, tanto técnicos quanto de financiamento e de assistência técnica.

## 2.6 Insumos alternativos para fertilização e condicionamento de solos

Os compostos orgânicos têm sido amplamente utilizados como alternativa aos adubos industriais. Isto porque a matéria orgânica é um componente fundamental da capacidade produtiva agrícola, por seus efeitos na biota do solo, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica, complexação de elementos tóxicos, estabilidade da estrutura e conseqüente efeito na infiltração e retenção de água e na aeração do solo (MIELNICZUK, 2008). Assim, o composto orgânico é utilizado para fornecer nutrientes para as plantas e melhorar as condições físicas dos solos, possibilitando maior desenvolvimento radicular e aéreo das plantas, manutenção da umidade e da temperatura e aumento da retenção de água e minerais na camada superficial do solo. Essas condições podem contribuir para que o sistema de produção seja mais produtivo e sustentável (COELHO, 2008; NUNES, 2009).

A utilização de insumos orgânicos ou alternativos pode sim ser uma solução ao consumo de insumos químicos. Porém é importante ressaltar que rotinas de procedimentos de avaliação desses produtos, do ambiente onde está sendo aplicado e da forma como vem sendo aplicado, são importantes para a diferenciação de um produto agrícola seguro para consumo e de um agroecossistema sustentável e não contaminado. Mas se mal manejado, o composto orgânico pode causar danos.

Em experimento realizado por Arbos et al. (2010), monitorando hortaliças produzidas de maneira orgânica e convencional, amostras de alface e de cenoura submetidas ao sistema orgânico apresentaram coliformes fecais e *Salmonella* sp. acima do permitido pela legislação brasileira. Essa contaminação pode ter ocorrido devido ao uso de água de irrigação contaminada, à presença de animais silvestres ou domésticos, ao solo contaminado ou ao emprego de adubos orgânicos sem tempo de compostagem adequado.

De acordo com o DECRETO do MAPA N° 4.954 (BRASIL, 2004), biofertilizante “é um produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante”. Pode também ser caracterizado do ponto de vista microbiológico, contendo microrganismos que vão colonizar o solo e a rizosfera,

promovendo melhora no desenvolvimento das plantas e na disponibilidade de nutrientes (MACHADO, 2010).

A técnica de compostagem foi desenvolvida visando acelerar o processo de humificação da matéria orgânica. Na natureza, a humificação ocorre em um longo período de tempo, dependendo da composição dos resíduos orgânicos (COELHO, 2008). Realizada com resíduos de origem animal e vegetal, que normalmente são desprezados na propriedade agrícola, a compostagem se torna uma ótima matéria prima para produção de fertilizante orgânico. O adubo produzido possui grande variedade de nutrientes, além de carbono e nitrogênio, que, quando aplicado ao solo, estimula a microbiota e contribui para o desenvolvimento saudável das plantas e a manutenção da fertilidade do solo (COELHO, 2008; NUNES, 2009). Além disso, o custo é somente da mão de obra para produzir o composto pelo próprio agricultor, não sendo necessária a compra de insumos externos (MACHADO, 2010).

Uma das principais alternativas em termos de adubação orgânica é o vermicomposto, obtido a partir da atividade de minhocas que potencializam a matéria prima, principalmente esterco bovino, fornecendo um adubo em menor tempo. Mas, conforme salientam Timm et al. (2004), a origem do material utilizado para produção do vermicomposto é um fator decisivo, pois só uma matéria prima de boa qualidade proporcionará um produto final também de boa qualidade.

O bokashi, material rico em matéria orgânica, é um adubo sólido elaborado a partir de um método japonês de compostagem, no qual diversos tipos de materiais orgânicos recebem uma solução líquida de microrganismos anaeróbicos e fermentos do ácido láctico. Podem ser utilizados no processo de produção resíduos agroindustriais diversos, sendo uma alternativa para o descarte desses resíduos (MOTA, 2013; GUERRA FILHO, 2016). É uma opção aos fertilizantes químicos, pois é rico em nitrogênio, fósforo e potássio, podendo ser aplicado por fertirrigação ou por adubação foliar, favorecendo crescimento e desenvolvimento das plantas (MOTA, 2013; GUERRA FILHO, 2016). Por se tratar de adubo rico em matéria orgânica, pode possuir capacidade de adsorção de metais, dependendo de sua composição.

O bokashi tem a capacidade de fornecer nutrientes necessários para o solo devido a presença de microrganismos que decompõem a matéria orgânica. Essa característica fornece uma grande quantidade de benefícios para as plantas e solo

além de contribuir para a redução da poluição ambiental, produção agrícola melhoradas, solos mais produtivos e redução de doenças no homem. É amplamente utilizado como um melhorador de solo que promove o aumento da diversidade microbiana, melhorando as condições físicas e químicas, prevenindo doenças do solo e fornecendo suplementos nutricionais para o desenvolvimento das culturas. (COELHO, 2008).

Resíduos como a vinhaça, tortas de filtro, bagaços e outros, decorrentes da produção da agroindústria, vêm sendo utilizados como fertilizantes e/ou condicionantes de solo. A aplicação desse tipo de resíduo promove a melhoria na fertilidade do solo, pois podem aumentar os teores de macro e micronutrientes. Quando aplicados em doses corretas, podem trazer benefícios como o aumento do pH do solo, maior disponibilidade de nutrientes, aumento da CTC, melhora na estrutura física do solo, entre outros. São importantes fontes de matéria orgânica. Porém, quando aplicados em proporções desbalanceadas, podem provocar lixiviação de íons do solo (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011; GURGEL, 2012).

Um exemplo de resíduo agroindustrial que pode ser utilizado como insumo para a agricultura é a fibra de coco. O coco verde é oriundo da palmeira tropical da classe das oleaginosas, de origem asiática, muito utilizado na alimentação. Devido à sua extensa utilização, gera uma grande quantidade de resíduos, porque cerca de 80% do peso bruto representa resíduo (HUAMÁN PINO, 2005). Quando disposto em lixões ou aterros sanitários, ocupa um grande volume e, devido à sua constituição, a compactação é dificultada.

O processo de degradação do coco é lento e pode estimular a proliferação de vetores, causando sérios riscos à saúde humana, além de outros impactos ambientais (JESUS, 2013). Por essas razões, alternativas para a utilização do resíduo do coco vêm sendo estudadas. O coco descartado pode ser processado e se tornar matéria prima para a indústria de cosméticos, como combustível, em artesanato, na confecção de sapatos, estofados, mistura asfáltica, artesanato, além de poder ser utilizado para produção de energia e como substrato agrícola (JESUS, 2013). Alguns estudos avaliam a eficiência da fibra de coco como um adsorvente alternativo e de baixo custo na remoção de diversos metais pesados, como urânio,

tório, chumbo e zinco. A capacidade de remoção de metais depende diretamente da composição química da superfície da fibra (HUAMÁN PINO, 2005).

Substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação de micro-organismos e que diferem de outros compostos produzidos por esses devido à sua estrutura molecular e elevada persistência no solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014). São moléculas orgânicas complexas que contêm uma grande variedade de grupos funcionais e são os maiores constituintes da matéria orgânica do solo, podendo representar de 70 a 80% da matéria orgânica na maioria dos solos (PRIMO et al., 2011). São de extrema importância para os ecossistemas terrestres, sendo responsáveis por reações químicas no solo, interagindo com íons metálicos, óxidos, hidróxidos, compostos orgânicos e minerais, e influenciando na disponibilidade de nutrientes, especialmente daqueles que são encontrados em baixíssimas concentrações no solo (PERTUIT; DUDLEY; TOLER, 2001; SUGIER; KOLODZIEJ; BIELINSKAL, 2013).

Essas substâncias são produzidas pela decomposição de material orgânico e são encontradas no solo, na turfa e em humatos. Grandes quantidades de fontes orgânicas externas ou aplicações alternativas de substâncias húmicas são necessárias para manter os níveis de matéria orgânica do solo (SUGIER; KOLODZIEJ; BIELINSKAL, 2013).

A leonardita é um humato derivado da oxidação de carvão vegetal. Os principais constituintes da leonardita são substâncias húmicas (PERTUIT et al., 2001) e é encontrada naturalmente em extratos superficiais de ambientes oxidados. A leonardita apresenta uma configuração estrutural complexa, com predominância de carbono (55% do seu peso total), o que a torna relativamente apolar, fazendo com que compostos hidrofóbicos possam escapar sem competição excessiva com água (SUGIER et al., 2013). Pertuit et al. (2001) observaram que a leonardita promoveu o aumento da absorção de nutrientes por raízes de tomate, possivelmente devido ao aumento da capacidade de troca de cátions ou por sua ação como quelante de macro e micronutrientes. Esse material também pode gerar alterações na estrutura do solo e na composição e eficiência da população microbiana (SUGIER et al., 2013). Preparações de leonardita já estão disponíveis

comercialmente para aplicação na agricultura e podem ser adicionadas ao solo misturadas em água.

## **2.7 Insumos fitossanitários alternativos**

Além dos insumos orgânicos para fertilização e condicionadores do solo, as culturas produzidas em sistemas orgânicos também necessitam de produtos naturais para combate de parasitas e doenças das plantas.

A utilização de agrotóxicos em larga escala nos sistemas agrícolas atuais é a razão de muitos problemas ambientais presentes no processo produtivo. Dentre esses problemas é possível destacar a contaminação direta dos alimentos devido a contaminação do solo e da água. O consumo desses alimentos pode acarretar danos à saúde humana, além do desequilíbrio biológico no controle de patógenos, pragas e plantas invasoras, que acabam desenvolvendo resistência a determinados produtos (WEHR, 2014).

No Brasil, em função dos danos causados pelo uso indiscriminado dos agrotóxicos, estimularam no início da década de 60 a busca por novas maneiras de lidar com o manejo de pragas e doenças. Produtos naturais vêm sendo aplicados com este fim desde então, sendo uma alternativa barata e que está ao alcance dos produtores. Os sistemas alternativos buscam aproveitar as interações naturais no sistema agrícola para obter vantagens no controle e manejo de pragas e doenças. Isso se deve ao uso de material orgânico proveniente da própria produção para a contenção desses problemas. Outro ponto importante também é a busca do equilíbrio biológico do solo, criando um ambiente menos propício ao desenvolvimento dos patógenos (MACHADO, 2010; BAPTISTUSSI, 2010).

Diniz et al. (2006) apontam que doenças e pragas limitam a expansão do cultivo em sistemas orgânicos pois a exploração comercial de muitas espécies, notadamente das olerícolas, é dificultada pela limitação do uso de insumos. Os autores apontam que no manejo de doenças de plantas, é fundamental integrar medidas de controle, como caldas, extratos, biofertilizantes, preparações homeopáticas e agentes de controle biológico, para viabilizar a produção, principalmente em cultivos orgânicos (DINIZ et al., 2006).



A utilização de inseticidas botânicos é uma técnica antiga que ressurgiu devido a necessidade de incorporação de novas práticas para o manejo de pragas nos cultivos agrícolas (BAPTISTUSSI, 2010). Neste contexto, inserem-se produtos fitossanitários alternativos, como plantas inseticidas e extratos de plantas. Dentre as plantas com propriedades inseticidas reconhecidas destacam-se a saboneteira (*Sapindus saponaria* L.), que controla piolho e pragas de grãos armazenados; esporinha (*Delphinium ajacis* L.), que atrai e mata larvas de gafanhotos; cravo-de-defunto (*Tagetes minuta* L.), que é nematicida e repelente de pulgões; timbó (*Ateleia glazioviana* Baill), cujo princípio ativo é a rotenona, um alcaloide tóxico para animais de sangue frio (MARANGONI et al., 2012).

Um destaque especial tem sido dado ao óleo e ao extrato da folha de nim (*Azadirachta indica*), que atuam contra diversos insetos (RHEINHEIMER et al., 2012). Derivados de nim têm ação inseticida principalmente por ingestão e podem afetar significativamente processos fisiológicos dos insetos, comprometendo seu desenvolvimento (COSTA et al., 2016).

Carmello e Cardoso (2018) testaram extratos aquosos de canela (*Cinnamomum verum*), coentro (*Coriandrum sativum*), cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) e de hipoclorito de sódio, com o objetivo de avaliar os possíveis efeitos no tratamento de sementes de alface e na inibição do crescimento micelial do fungo *Cercospora longíssima*. Os autores observaram que o extrato aquoso do coentro exerce efeito positivo na germinação e desenvolvimento de mudas de alface e que o extrato aquoso de canela e hipoclorito de sódio inibiram completamente o crescimento micelial de *C. longíssima*, constituindo um tratamento alternativo eficiente para controlar o fitopatógeno *C. longíssima* (CARMELLO; CARDOSO, 2018)

Dentre os fungicidas tradicionais utilizados, destaca-se a calda bordalesa, que surgiu no século XIX, em Bourdeaux, na França, com o objetivo de controlar o míldio de videiras, sendo considerada um produto fitossanitário eficiente. É um fungicida composto por uma mistura de sulfato de cobre penta hidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e cal virgem (CaO), amplamente utilizado na agricultura orgânica e em sistemas de produção em processo de transição agroecológica (FELIX, 2005). Em condições de campo, Diniz et al. (2006) avaliaram produtos alternativos no manejo da requeima do

tomateiro (*Lycopersicon esculentum*), causada por *Phytophthora infestans*: extratos de pimenta (*Capsicum chinense*), pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), cravo (*Syzygium aromaticum*), açafrão-da-índia (*Curcuma longa*), alho (*Allium sativum*); óleo de nim (*Azadirachta indica*); leite de vaca cru diluído; preparado homeopático obtido de tecido de tomateiro com requeima (dinamização C30); mistura água-etanol; e calda bordalesa. Os autores constataram que a calda bordalesa, cujo emprego não é permitido por algumas certificadoras de produtos orgânicos, foi o tratamento mais eficiente no controle da requeima, mas que são necessários ajustes na concentração e/ou na frequência de aplicação para minorar os efeitos da fitotoxidez.

Por poder ser produzida pelo próprio agricultor, além de possuir baixo custo quando comparada a outros defensivos agrícolas, seu uso foi intensificado nos últimos anos. O sulfato de cobre é considerado um produto pouco tóxico, além de melhorar as propriedades nutricionais do solo (FELIX, 2005). Entretanto, a utilização da calda bordalesa sem controle adequado e por período prolongado pode causar aumento de cobre disponível.

Segundo Kuhn (2011), a contaminação de solos e da água subterrânea pela aplicação de fungicidas cúpricos, como a calda bordalesa, começou a ser largamente estudada devido à importância da vitivinicultura em vários países do mundo, inclusive no Brasil, e à constatação de que a aplicação de fungicidas cúpricos a longo prazo, pode levar à contaminação dos solos, da água subterrânea e de produtos da uva. Boa parte da calda aplicada em cultivos como fungicida tem como destino o solo, devido ao escoamento causado pela chuva ou à queda das folhas (VENDRUSCOLO, 2013).

Casali et al. (2008) realizaram um estudo em videiras do Rio Grande do Sul que, durante 40 anos, receberam doses anuais de calda bordalesa. Esses autores constataram aumento do teor total e das frações biodisponíveis de Cu do solo, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, quando comparadas com solo sob mata natural, sendo que a maior parte do Cu dos solos cultivados com a videira encontrava-se retida na fração mineral, enquanto que no solo sob mata natural encontrava-se principalmente na matéria orgânica.

## 2.8 Potencial contaminante do cobre no solo

A contaminação dos solos por metais pesados é um dos principais problemas ambientais na atualidade, já que, se presentes em altas concentrações no solo, podem entrar em contato com o ar e águas superficiais e subterrâneas, além de entrarem na cadeia alimentar, afetando os organismos vivos em vários níveis. Por serem altamente bioacumuláveis, a eliminação dos metais pesados é muito difícil (ALEXANDRE et al., 2012).

A aplicação de produtos que tenham em sua composição metais pesados, como fungicidas e fertilizantes, e a utilização de resíduos orgânicos como enriquecedores de solo (esterco de animais, lixo urbano, lodo de esgoto), podem aumentar a concentração de metais pesados no solo, alcançando valores que podem inibir o crescimento das plantas e causar alterações nos microrganismos presentes no solo. Para que isso não ocorra, é preciso observar a quantidade de metais que está sendo adicionada ao solo e, se necessário, buscar métodos que amenizem o efeito tóxico destes, pois as plantas podem transferir contaminantes do solo para níveis mais elevados da cadeia trófica (ALEXANDRE et al., 2012; FIOR, 2012; VINHAL-FREITAS et al., 2010).

Os principais metais pesados presentes no solo são o cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni), bário (Ba), argônio (Ag), cobalto (Co), mercúrio (Hg) e antimônio (Sb), sendo elementos importantes para várias funções do organismo dos seres vivos (ALEXANDRE et al., 2012).

Segundo Fior (2012), a entrada de metais pesados no solo pode ocorrer por meio de fertilizantes, utilização de bio sólidos e adubos de origem animal (porcos e aves), pesticidas, além dos metais já presentes na composição química dos tipos diferentes de solo. Porém, os metais de origem antropogênica, tendem a ser mais móveis do que os presentes nos materiais de origem do solo (PIRES, 2004).

Por formarem compostos metálicos em associação com a matéria orgânica presente no solo, existe alta possibilidade de ocorrer mobilização dos metais ao longo do perfil. Porém, normalmente, os maiores teores são encontrados nas camadas superficiais, onde a matéria orgânica, que é um meio de fornecimento de metais ao solo, está presente em maior quantidade (VINHAL-FREITAS et al., 2010).

O cobre é um micronutriente essencial para plantas e microrganismos, presente na natureza principalmente combinado com o enxofre, na forma de sulfeto de cobre e que pode ser extraído de diversos minérios. Está presente em resíduos urbanos e industriais, pesticidas e fertilizantes. Em grandes concentrações, tem efeito tóxico para vegetais, podendo causar a deficiência de outros nutrientes essenciais em plantas (FELIX, 2005; SODRÉ et al., 2001). É um dos metais que podem ser adicionados ao solo, tanto em sistemas de agricultura intensiva quanto em sistemas agroecológicos

Geralmente o cobre é um elemento com pouca mobilidade em solos com elevado teor de matéria orgânica e que tende a acumular-se nas camadas superficiais. Sua dinâmica no solo é bastante complexa e influenciada por diversos fatores relacionados à composição do solo. A relação do cobre com a matéria orgânica do solo é importante, já que esse elemento tem elevada afinidade com compostos orgânicos, sendo a complexação do cobre por compostos orgânicos a mais forte entre os metais de transição (FELIX, 2005; SODRÉ et al., 2001).

Segundo Casali et al. (2008), o Cu é adsorvido no solo com diferentes graus de energia e sua labilidade é dependente do ligante, da quantidade de matéria orgânica e de óxidos, e da condição geoquímica, especialmente pH. A adsorção de Cu ocorre primeiramente nos sítios de ligação mais ávidos e o Cu remanescente é redistribuído em frações que são retidas com menor energia, conseqüentemente de maior disponibilidade. A baixa mobilidade do Cu acentua-se com o aumento do teor de argila e com o avanço do intemperismo do solo (BERTOL et al., 2010), mas este comportamento pode ser afetado se houver aumento no aporte deste metal no solo.

Os benefícios da adição de insumos orgânicos nos solos são amplamente estudados e avaliados, e sua importância como fornecedores de nutrientes é indiscutível. Porém, insumos de composição predominantemente orgânica, resultantes de processos de decomposição aeróbia ou reciclagem, como lodo de esgoto e adubos orgânicos provenientes de resíduos, como o bokashi, podem apresentar potencial poluidor ou contaminante. A adição destes materiais ao solo ou à água pode introduzir elementos inorgânicos, compostos orgânicos tóxicos ou patógenos na cadeia alimentar, além de causar alterações potenciais nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo e na estrutura e funcionamento

dos ecossistemas (BETTIOL; GALVÃO, 2006; BETTIOL et al., 2006, ABREU JUNIOR et al., 2005).

Conforme Saito (2007), órgãos internacionais, como o “National Organic Standards Boards” (NOSB), nos Estados Unidos, têm levado em conta estudos sobre os impactos negativos da utilização de resíduos orgânicos e recomendam a não utilização destes para produção de alimentos orgânicos. Outros pesquisadores, como o “Environmental Working Group” (EWG), questionam a aplicação do lodo de esgoto em qualquer sistema de produção de alimentos (SAITO, 2007).

Práticas agrícolas tradicionais também podem contribuir para a adição de metais ao solo, através do uso de fertilizantes minerais, defensivos e mesmo adubos orgânicos. Conforme mencionado anteriormente, um exemplo de produto orgânico que pode apresentar potencial contaminante é a calda bordalesa. É um fungicida utilizado em diversas culturas no combate de diversas doenças (MARTINS, 2005). Com o transcorrer dos anos, o cobre aplicado sucessivamente através da calda bordalesa pode acumular-se no solo, chegando a valores preocupantes que podem resultar na contaminação do lençol freático e ser absorvido por plantas, o que faria com que esse metal entrasse na cadeia alimentar.

Em análises de cobre total e solúvel, Martins (2005) concluiu que, em amostras de Argissolo Vermelho Amarelo, com diferentes teores de matéria orgânica, que receberam aplicações sucessivas de calda bordalesa em um cultivo de figo, foram encontrados maiores teores de cobre total e solúvel do que em amostras do mesmo solo que não receberam aplicações de calda bordalesa; os solos que apresentaram maior teor de matéria orgânica e pH adsorveram maiores quantidades de cobre. Martins (2005) avaliou outros estudos referentes ao potencial de contaminação do solo por calda bordalesa. Estudos realizados na China e na França, em cultivos tratados com calda bordalesa por mais de 10 anos, também demonstram o acúmulo de cobre na superfície do solo após repetidas aplicações. O teor médio de cobre no solo é de aproximadamente  $35 \text{ mg.kg}^{-1}$ , podendo chegar a  $70 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Em solos do estado de São Paulo, Martins (2005) levantou dados que registraram uma variação de  $7 \text{ mg.kg}^{-1}$  a  $187,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ , de acordo com as características de formação morfológica dos solos.

Em análises feitas em Latossolo sob cultivo de citrus, Marchiori Junior (2002) registrou valores que variaram de 0,16 a 13 mg.kg<sup>-1</sup>. Já Alleoni et al. (2003) observaram valores mais elevados em cultivos de uva tratados com calda bordalesa por mais de 10 anos.

### **3. EFEITO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NA ATENUAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO POR COBRE DE CALDA BORDALESA**

#### **3.1 Introdução**

Atividades como agricultura, mineração e disposição de resíduos têm provocado aumento da concentração de metais pesados em solos e, conseqüentemente, elevam os riscos de contaminação. Paralelamente, há crescente aumento na demanda por produtos agropecuários de qualidade, produzidos em sistemas de produção que buscam minimizar os impactos no ambiente. A utilização de materiais orgânicos para condicionamento e recuperação de solo é uma técnica muito importante e que vem sendo utilizada largamente na agricultura orgânica. Porém, o aporte de substâncias ricas em metais pesados sem o devido cuidado, pode causar danos para o ambiente agrícola, já que esses materiais não são decompostos naturalmente com o passar do tempo.

Quando a concentração de metais é alta, pode inibir o crescimento das plantas e causar alterações nos micro-organismos. Portanto, é necessário buscar métodos que amenizem o efeito tóxico dos metais, pois as plantas podem transferir

contaminantes do solo para níveis mais altos da cadeia trófica (ALEXANDRE et al., 2012; VINHAL-FREITAS et al., 2010). Em sistemas agroecológicos, insumos orgânicos como calda bordalesa, calda viçosa, calda sulfocálcica e produtos derivados do metabolismo secundário vegetal, também podem ser tóxicos ao ambiente (FERREIRA; OLIVEIRA, 2016).

A matéria orgânica tem papel importante nos processos de funcionamento do solo. Conforme aponta Mielniczuk (2008), a matéria orgânica do solo é responsável pelo fornecimento gradual de nutrientes às culturas, devido à sua lenta decomposição; tem a capacidade de reter cátions e complexar elementos tóxicos; ajuda a manter a estabilidade da estrutura do solo, possibilitando melhor infiltração e retenção de água, aeração e fornece condições para o desenvolvimento de atividade e diversidade microbiológica do solo.

Devido à sua lenta decomposição, a matéria orgânica presente em fertilizantes ou resíduos orgânicos tem a capacidade de reter íons e complexar elementos tóxicos (VINHAL-FREITAS et al., 2010). Portanto, a utilização de materiais ricos em matéria orgânica pode ser uma importante forma de atenuação dos efeitos contaminantes do Cu em solos expostos a adição de doses elevadas desse metal. Alguns desses materiais como dejetos suínos (BERTOL et al., 2010; LOPES et al., 2014), calda bordalesa (CASALI et al., 2008), resíduo urbano e lodo da estação de tratamento de esgoto (CANELLAS et al., 1999) já são reconhecidos por sua capacidade de interação com metais no solo e são usados em sistemas orgânicos.

Outros, embora bastante usados como enriquecedores de solo, como a fibra de coco e o bokashi, carecem de estudos sobre seu papel na adsorção de Cu. Por outro lado, no Brasil, humatos como a leonardita são pouco utilizados na agricultura orgânica embora seu papel na fertilização de solos (PERTUIT et al., 2001; SMITH; JACOBS, 2014) e na fitorremediação de Cu seja conhecido (VARGAS et al., 2016).

Em vista do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a retenção de cobre (Cu), em solo argiloso adubado com resíduo e condicionadores orgânicos, e estimar o potencial de contaminação de solo e águas.



## 3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em bancada, no Laboratório de Biotecnologia do Instituto de Pesquisas Científicas (IPECI) da Universidade Católica de Santos (UNISANTOS), entre 21 de setembro e 30 de outubro de 2016.

O solo utilizado foi coletado na camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho argiloso, com  $15,7 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Araras, em Araras (SP). Inicialmente, foram retirados materiais de origem orgânica visíveis a olho nu. Em seguida, as amostras foram destorroadas manualmente e secadas ao ar (temperatura ambiente de cerca de  $25^\circ \text{C}$ ) durante 15 dias. Posteriormente, o material de solo foi colocado em tubos de policloreto de vinila (PVC), de 40 mm de diâmetro e 15 cm de altura, distribuído em camadas compactadas de forma a simular a condição original de campo.

O experimento foi dividido em duas fases. Na primeira, foram conduzidos testes para a análise do percolado gerado após a aplicação de calda bordalesa e água. Na segunda fase, o solo foi submetido a um processo de extração do Cu por meio de ácidos.

### 3.2.1 Análise do percolado

Foram testados três tipos de materiais orgânicos (bokashi, fibra de coco e leonardita), em três doses, em triplicatas. As doses aplicadas foram definidas com base na literatura, adotando-se valores comumente usados. Esse procedimento foi adotado visto que a quantidade de cada um dos tratamentos aplicada no solo varia de um insumo para o outro (Tabela 1). Assim, foi possível observar os efeitos de cada tratamento, respeitando as propriedades e as interações de cada material com o solo. A aplicação de doses iguais para todos os tratamentos poderia inibir ou acelerar processos desencadeados pela aplicação desses materiais, já que cada um apresenta propriedades e composição distintas. Alterações desse tipo poderiam gerar resultados inconclusivos para o experimento.

**Tabela 1.** Quantidades de material orgânico (QMO) aplicadas em Latossolo Vermelho argiloso.

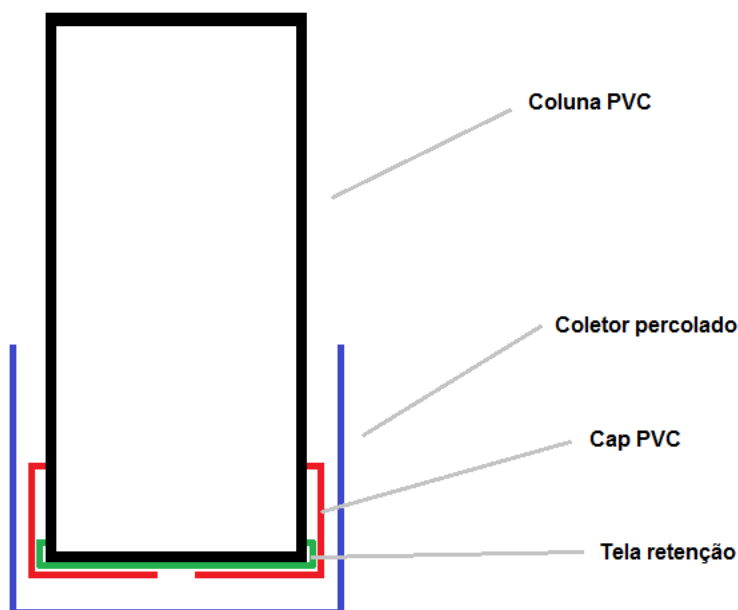
<b>Material Orgânico</b>	<b>QMO1</b>	<b>QMO2</b>	<b>QMO3</b>
Bokashi (g m <sup>-2</sup> )	150	300	450
Fibra de coco (%v/v)	3	6	9
Leonardita (g kg <sup>-1</sup> )	1	2	3

A fibra de coco foi pesada (Figura 1A) e misturada às 142 g de solo antes deste ser colocada dentro dos tubos de PVC. Já o bokashi e a leonardita foram diluídos em 10 ml de água destilada e borrifados na superfície do solo. O percolado gerado com a aplicação do bokashi e da leonardita foi recolhido e descartado. Os controles foram: solo (LV) e solo com calda bordalesa (LV+CB), aplicada ao longo do experimento, e esses resultados foram usados como referência.

Os tubos foram dispostos em delineamento casualizado, em esquema fatorial 3x3 com três repetições, correspondentes a três tratamentos, três doses e três repetições. Para a coleta do líquido excedente, foram posicionados frascos de plástico na parte inferior dos tubos de PVC (Figura 1). Filtros de polipropileno foram colocados em uma das extremidades dos tubos, para que o material de solo não fosse carregado para a solução de lixiviação.

Após a montagem, e para assentar solo e material orgânico, foram aplicados 100 ml de água destilada em cada um dos tubos. Este percolado foi coletado e descartado. Para calcular a média mensal de chuva, utilizou-se a série histórica, de 1973 a 2014, da precipitação pluviométrica medida na Estação Climatológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos, Campus Araras, disponível no portal do CCA. Com base nos cálculos da média de volume de chuva e na quantidade média de dias chuvosos no período, foram realizadas nove aplicações de 18 mL de água destilada, ao longo dos 47 dias de ensaio, simulando a chuva no período.

**Figura 1.** Esquema de montagem dos tubos de PVC para ensaios de lixiviação.



A aplicação de cobre foi realizada por meio de três doses de calda bordalesa, aplicadas nos dias 14 de setembro, 30 de setembro e 17 de outubro de 2016. A calda foi preparada na concentração de 1%, com base na mistura tradicionalmente aplicada na agricultura orgânica: 100 g de sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e 100 g de cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) em 10 L de água (FELIX, 2005). Cada dose correspondeu a 20 mL de calda bordalesa, que representaram a 50,9 mg de Cu. As três doses de calda bordalesa corresponderam a um acúmulo de 1.075 mg Cu  $\text{kg}^{-1}$ , o que caracterizaria elevada contaminação. Andreazza et al. (2013) apontam que teor de Cu superior a 100 mg  $\text{kg}^{-1}$  no solo é considerado excessivo e que em solos do Rio Grande do Sul existem registros de teores superiores a 1.200 mg  $\text{kg}^{-1}$  solo.

O percolado proveniente de cada irrigação foi coletado em frascos âmbar, após cada aplicação. Cada frasco recebeu 1 mL de ácido nítrico para retirada do Cu presente na amostra, e foi analisado em espectrofotômetro de absorção atômica de chama ar-acetileno, para determinação dos teores de Cu que foram lixiviados no solo.

### 3.2.2 Análise do solo

Ao final do experimento, o solo foi retirado dos tubos, mantendo-se a forma cilíndrica da amostra. Para a análise do solo, as amostras foram submetidas a um novo delineamento casualizado com esquema fatorial de 3x3x3 com três repetições, sendo acrescentada a variável posição no tubo ao delineamento. Cada amostra foi fatiada em três porções de 3,3 cm de altura, correspondentes a topo, meio e final do tubo. De cada uma das porções, e nas três repetições, foram retiradas duas amostras de 1g de solo e armazenadas em frasco âmbar com 10 mL de água destilada.

Com o objetivo de visualizar a concentração de Cu adsorvido ao solo que possa ser extraído por um ácido forte e um ácido fraco, as amostras de solo foram separadas em dois grupos: o primeiro recebeu 2,5 mL de ácido nítrico (ácido forte) e o segundo grupo, 2,5 mL de vinagre (simulando um ácido fraco). As 81 amostras (3 materiais x 3 doses x 3 porções de solo x 3 repetições) foram analisadas em espectrofotômetro de absorção atômica de chama ar-acetileno, para determinação dos teores de Cu retidos na amostra de solo.

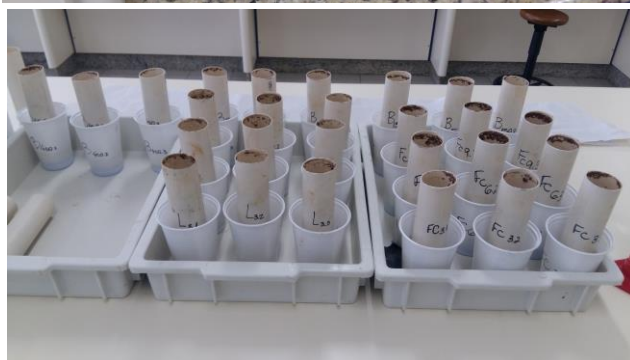
Foram calculadas médias de repetições, de análises do percolado e do solo, e os dados obtidos foram representados por meio de gráficos e tabelas visando a compreensão da lixiviação e da retenção de Cu nos materiais estudados.

A sequência de operações laboratoriais encontra-se ilustrada na figura 2 (A a G).

**Figura 2.** Pesagem do material de solo (A); adição do solo ao tubo de PVC (B); conjunto amostral (C); adição de fibra de coco ao solo (D); adição de bokashi e leonardita ao solo (E); calda bordalesa (F); conjunto de amostras de percolado armazenados em vidros âmbar (G).



(A)



(C)



(B)



(D)



(E)



(F)



(G)

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

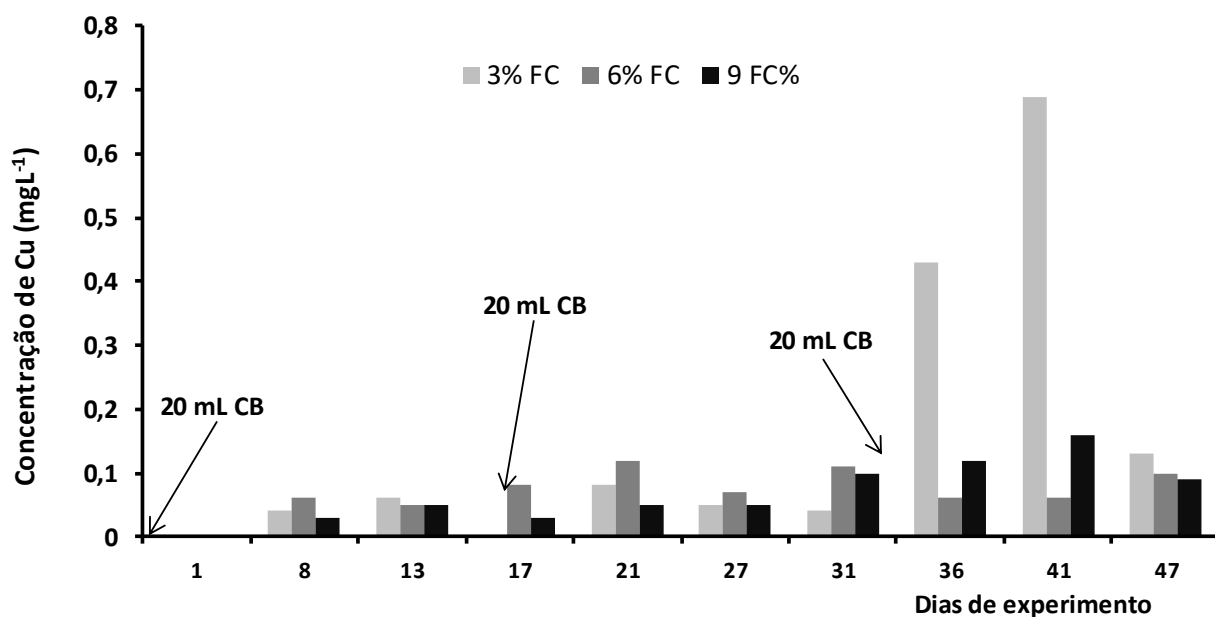
#### 3.3.1 Análise do percolado

Os resultados obtidos no percolado estão indicados na figura 2 (A, B e C). Todas as amostras avaliadas apresentaram concentração de Cu superior à recomendada pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que determina que águas doces de Classe I e II não podem conter concentração de cobre dissolvido maior do que 0,009 mg L<sup>-1</sup>. Essas águas, após tratamento, são destinadas ao consumo humano, proteção de comunidades aquáticas, recreação e irrigação de alimentos, consumidos crus ou com crescimento próximo ao solo, e de campos, parques e espaços abertos em que o público tenha contato direto com o solo.

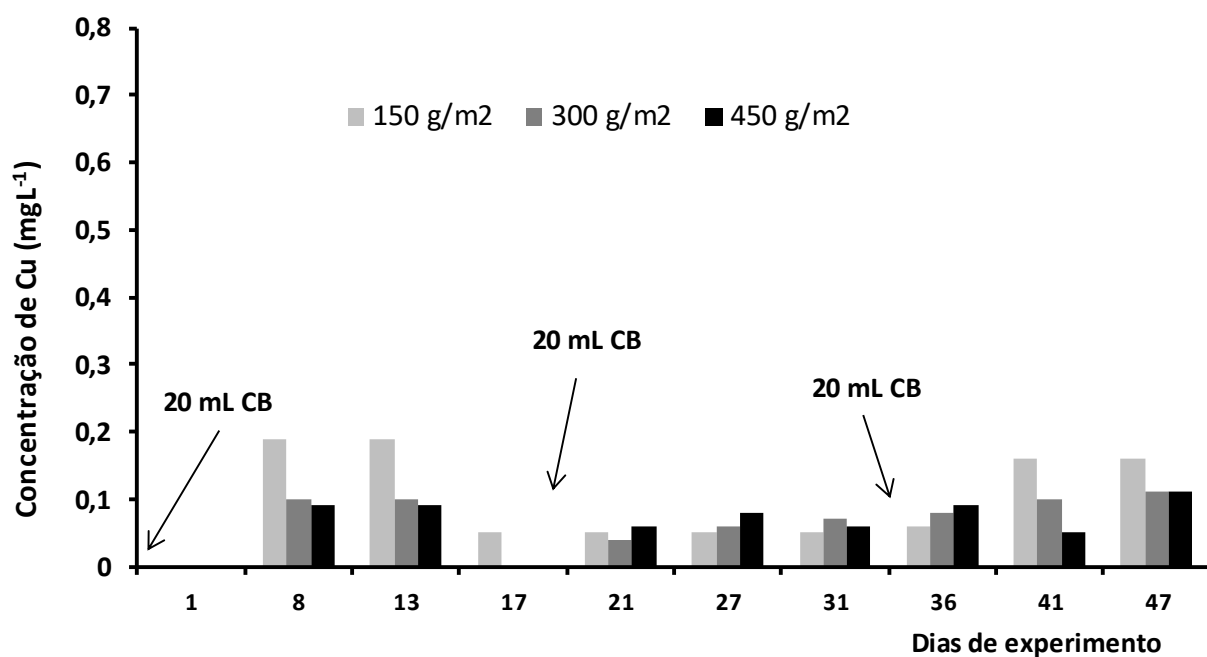
Características do solo como a granulometria, estrutura, teor de matéria orgânica, CTC e mineralogia das argilas, influenciam diretamente na mobilidade dos metais pesados, interferindo no seu transporte pela coluna de solo (TITO et al., 2012; SMANHOTTO et al., 2010). Além disso, a presença de outros metais ou contaminantes também pode influenciar na adsorção do metal em questão às partículas do solo. O Cu em processo de percolação pode ser retido por boa parte dos solos e ricos em matéria orgânica, que apresentem óxidos de ferro, alumínio e manganês na sua formação (SMANHOTTO et al., 2010).

No resultado das análises de percolado das amostras com a fibra de coco (Figura 3 A), quanto maior a concentração de fibra no solo, menor a concentração de Cu percolado. Estudos sobre a capacidade de retenção de metais pela fibra de coco vem sendo realizados em meio aquoso, onde os resultados alcançados são satisfatórios. Silva et al. (2013) testaram a fibra de coco como material adsorvente de metais em efluente proveniente de uma indústria de tintas à base de água. Neste experimento, analisaram a concentração de metais retidos na fibra após a exposição ao efluente. Observaram que, devido a constituição porosa da fibra e sua superfície irregular, a capacidade de adsorção dos metais nos poros deste material foi considerada eficaz. Porém, como a fibra contém metais em sua formação, pode ocorrer uma relação reversa, na qual a fibra libera íons metálicos para o efluente.

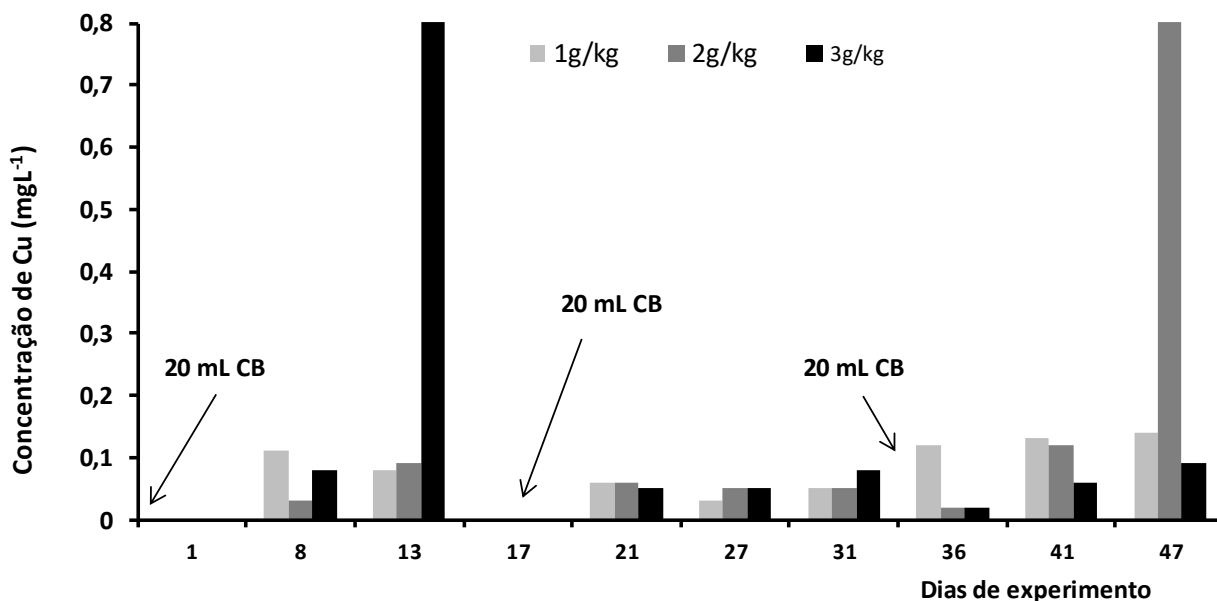
**Figura 3.** Concentração de cobre (Cu), em  $\text{mg L}^{-1}$ , medida em água percolada em Latossolo Vermelho argiloso, que recebeu calda bordalesa (CB) e: (A) com 3%, 6% e 9% de fibra de coco (FC); (B) 150, 300 e 450  $\text{g m}^{-2}$  de bokashi (BO); e (C) 1, 2 e 3  $\text{g kg}^{-1}$  de leonardita (LE).



(A)



(B)



(C)

Assim como na fibra de coco (Figura 2A), o percolado das amostras que receberam doses de bokashi, apresentou menores concentrações de Cu no tratamento com maior dose aplicada do material (Figura 2B). Segundo Felix (2005), a calda bordalesa é um material alcalino, o que imobiliza ou dificulta a mobilidade do Cu. Porém, a ação de compostos orgânicos pode auxiliar na mobilização do metal, o que explicaria a concentração de Cu nos percolados.

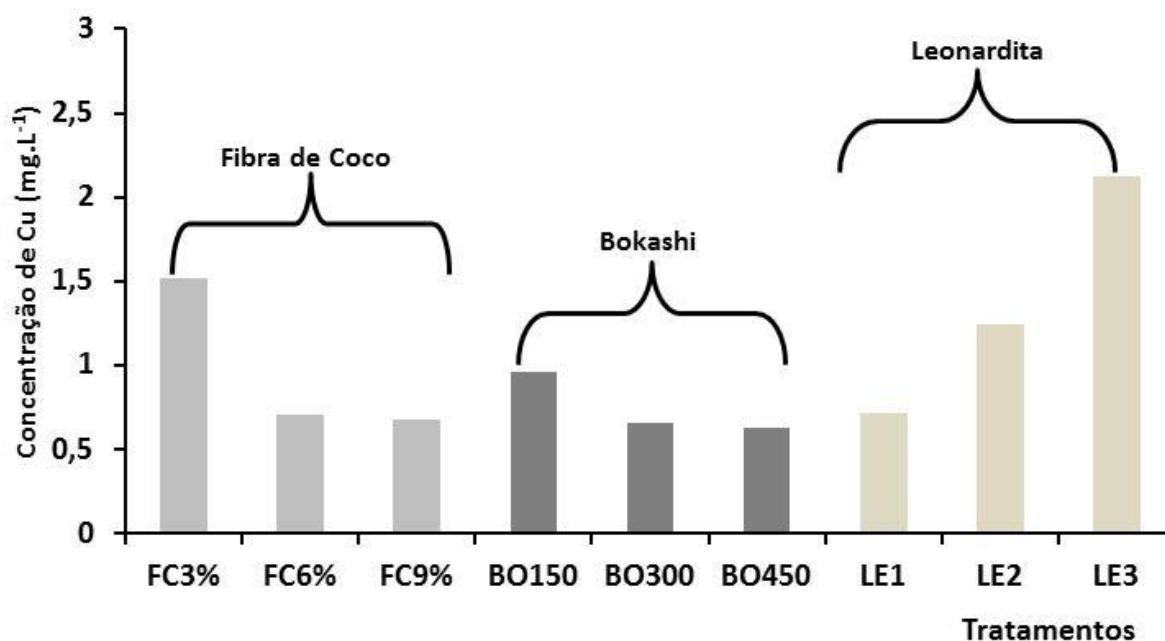
O bokashi é um composto preparado a partir da mistura de vários materiais orgânicos (MAGRINI et al., 2011). Essa característica pode influenciar na capacidade de adsorção de metais, já que isso depende das características de cada um dos componentes utilizados na formação do composto. A capacidade de interação das partículas ativas do bokashi com o solo permitiu com que o Cu presente na calda bordalesa fosse mantido na coluna da amostra. Casali et al (2008) indicam que solos com baixos teores de óxidos, como o do experimento, permitem uma maior adsorção do Cu aos grupos funcionais da matéria orgânica, o que dificultaria a lixiviação do metal na presença do bokashi, devido à sua composição variada.

Quando em contato com a matéria orgânica, o Cu é retido mais facilmente por ácidos húmicos e fúlvicos (SMANHOTTO et al., 2010). No experimento, o tratamento caracterizado pela presença de ácidos húmicos é a leonardita, que apresentou os



teores mais altos de lixiviação de Cu quando comparado aos outros tratamentos, conforme Figuras 3C e 4. Durante o experimento, foi observada lixiviação de leonardita no percolado o que pode explicar a maior concentração de Cu percolada nas amostras que receberam maior dose de leonardita.

**Figura 4.** Concentração total de cobre (Cu), em mg L<sup>-1</sup>, no percolado de Latossolo Vermelho argiloso, tratado com fibra de coco (3%, 6% e 9%), bokashi (150, 300 e 450 g m<sup>-2</sup>) e leonardita (1, 2 e 3 g kg<sup>-1</sup>), que receberam 60 mL de calda bordalesa em três doses e 162 mL de água destilada em nove doses, durante 47 dias.



A Figura 4 indica a média de concentração de Cu em cada um dos tratamentos, seguindo as doses aplicadas. Em uma análise geral, a leonardita foi o material que apresentou as maiores concentrações de Cu percolado, quando comparado aos outros materiais utilizados. A leonardita foi o único material que apresentou uma relação linear de percolação de cobre com o aumento da concentração aplicada de material.

Segundo Bertol et al. (2010), solos altamente intemperizados, como o do experimento, apresentam baixa mobilidade de Cu, pois este possui alta reatividade com os argilominerais do solo, nesse caso, óxidos de Fe e de Al e caulinita. Em seu experimento, Bertol et al. (2010) observaram que, assim como no experimento em

questão, as taxas de lixiviação foram baixas comparadas ao que foi adicionado de Cu. A taxa de lixiviação encontrada neste experimento não ultrapassou 1,4% do total adicionado ( $152,7 \text{ mg L}^{-1}$ ) no tratamento com leonardita em maior concentração, muito próximo dos valores encontrados por Bertol et al. (2010).

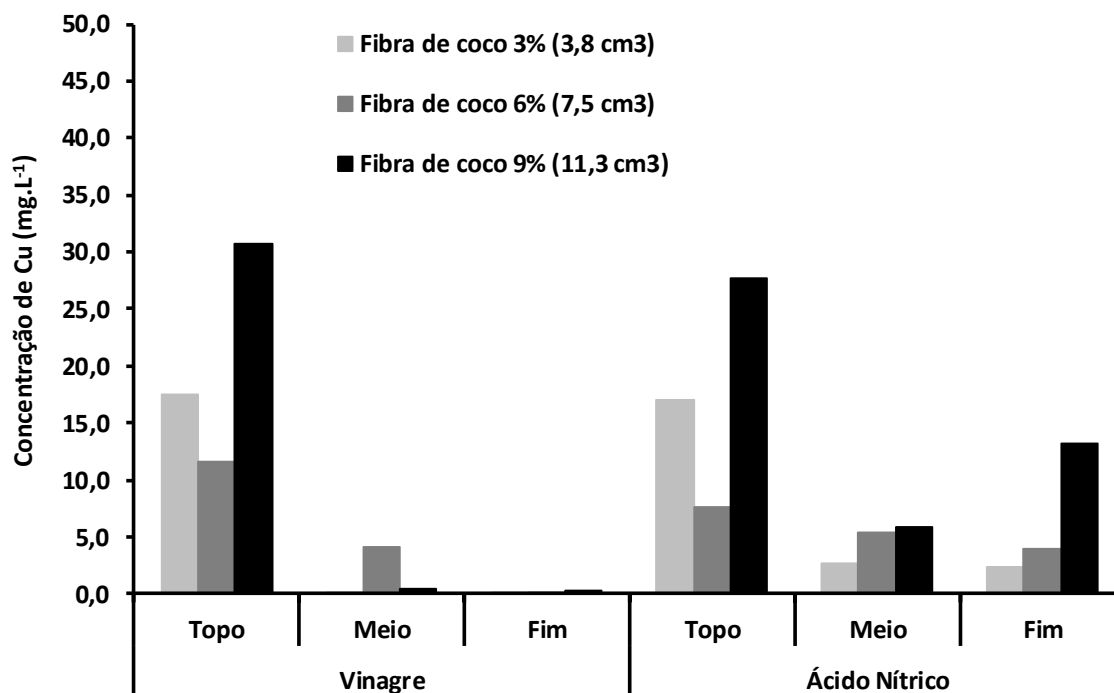
Solos com elevado intemperismo geralmente apresentam grande profundidade e um alto grau de deficiência de elementos minerais nas camadas mais profundas, o que lhes confere grande poder de filtrar solutos que venham a percolar. Controlar o escoamento superficial para intensificar o processo de lixiviação em solos com teores elevados de cobre pode auxiliar no aumento da retenção do cobre no solo (BERTOL et al., 2010). Isto é possível com o manejo adequado do solo e água, podendo garantir a não contaminação dos solos.

Algumas características da metodologia aplicada podem ter interferido no resultado obtido no experimento, como a diferença entre os dias de aplicação de água destilada entre as doses de calda bordalesa. Além disso, a calibração e correção dos dados de absorvância também podem ter causado algum tipo de interferência. Porém, de maneira geral, os resultados obtidos ficaram próximos aos esperados e descritos em experimentos de outros autores.

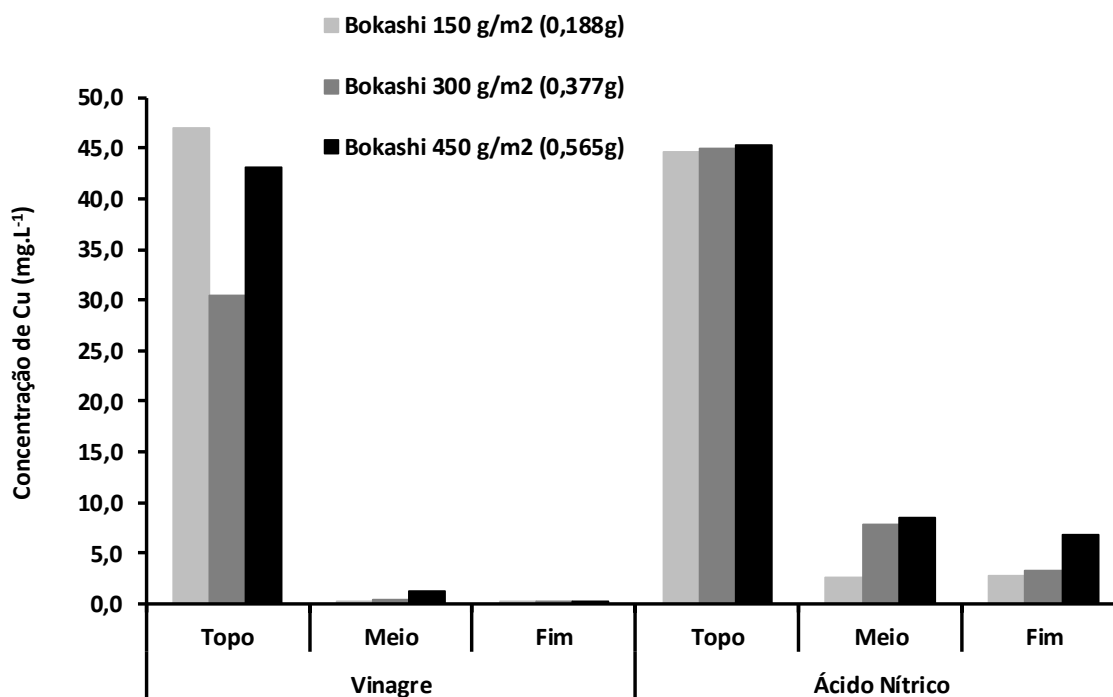
### 3.3.2 Análise do solo

Os resultados obtidos para teor de Cu extraído das diferentes porções de solo (topo, meio e fim), em função da ação de um ácido fraco (vinagre) e um ácido forte (ácido nítrico), estão representados na figura 5. Observou-se que a amostra da parte superior (topo) do tubo apresentou a maior concentração de Cu extraído em todos os tratamentos, tanto na extração com vinagre quanto com ácido nítrico (Figura 5).

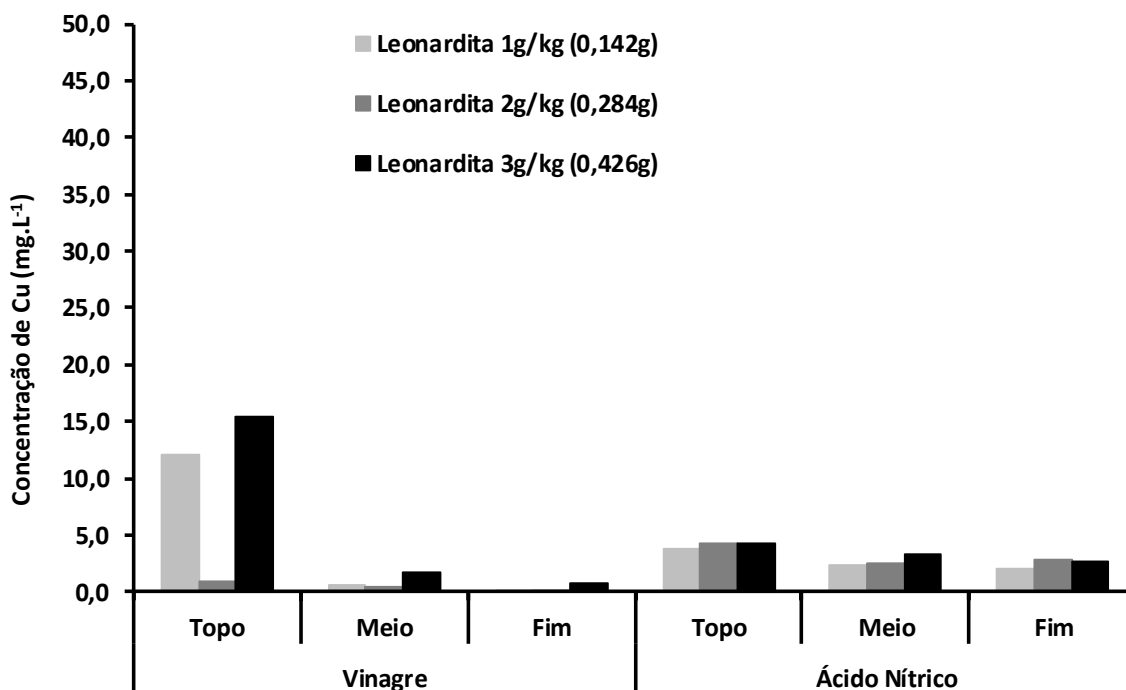
**Figura 5.** Quantidade de cobre (Cu), em mg L<sup>-1</sup>, extraída de Latossolo Vermelho argiloso com (A) fibra de coco, (B) bokashi e (C) leonardita, por meio de um ácido fraco (vinagre) e um ácido forte (ácido nítrico), ao longo de 47 dias.



(A)



(B)



(C)

Segundo a figura 5, as concentrações mais elevadas de Cu, extraídas tanto por meio de vinagre ( $47,02 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento com  $150 \text{ g m}^{-2}$ ) quanto de ácido nítrico ( $45,25 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento com  $450 \text{ g m}^{-2}$ ), foram observadas nos tratamentos com bokashi (Figura 5B). Nas amostras tratadas com fibra de coco, a maior concentração de cobre extraído foi para a dose de 9% com uso do vinagre. Essa mesma dose apresentou a maior concentração para o tratamento na análise de extração por ácido nítrico. Para as outras doses de fibra de coco, as concentrações de Cu extraídas tanto pelo ácido forte quanto pelo fraco foram inferiores as extraídas nos tratamentos com bokashi.

Nos tratamentos com leonardita, as quantidades de Cu extraídas foram menores, quando comparadas com o bokashi e fibra de coco (Figura 5C). Nas extrações com vinagre, houve maior extração de Cu nas amostras de topo, nas concentrações de  $1 \text{ g kg}^{-1}$  ( $12,085 \text{ mg L}^{-1}$ ) e  $3 \text{ g kg}^{-1}$  ( $15,388 \text{ mg L}^{-1}$ ). Quando comparado aos outros tratamentos, o tratamento com leonardita foi o que apresentou menores teores de extração. A presença de material orgânico humificado, como na leonardita, favorece a formação de complexos estáveis com o cobre, por esse material ser uma matéria orgânica mais estabilizada (SANTOS e

RODELLA, 2007). Isso explica a baixa concentração extraída das amostras de leonardita, sendo as mais altas na utilização do ácido nítrico, um ácido mais forte capaz de quebrar a estabilidade dos complexos formados.

Conforme mencionado anteriormente, o cobre apresenta baixa mobilidade no solo e é um dos metais mais fortemente adsorvidos. Por ter alta razão de complexação pela matéria orgânica do solo, o cobre torna-se dificilmente extraível com extratores fracos (SMANHOTTO et al., 2010). No presente experimento, nas camadas mais interiores da amostra, o ácido nítrico foi mais efetivo do que o vinagre na extração do Cu. Quando na superfície da amostra, o vinagre teve capacidade de extrair maior concentração do metal, indicando que o Cu estaria mais disponível nessa região. No interior da coluna, o ácido nítrico se mostrou mais eficiente, já que possui maior capacidade de extração por ser um ácido forte. Este comportamento pode estar relacionado com características como diferenças na porosidade do solo ao longo do tubo, que provocaria diferenças na taxa de infiltração de água, ou mesmo diferenças no grau de complexação do material orgânico adicionado. As amostras tratadas com leonardita foram as que apresentaram menor extração de Cu pelo vinagre.

### 3.3.3 Balanço de teores de cobre

O balanço entre Cu percolado, removido por meio de ácidos fraco (vinagre) e forte (nítrico) e não removido (Tabela 2) evidencia que os ácidos utilizados removeram apenas uma pequena parte do Cu adicionado por meio de calda bordalesa. Ao se comparar as quantidades de Cu nos tratamentos LV (Tabela 2), após as sucessivas aplicações de água, foram percolados  $1,93 \text{ mg L}^{-1}$  dos  $15,7 \text{ mg L}^{-1}$  presente no solo utilizado, conforme indicado na análise química. No tratamento LV+CB houve diminuição do Cu percolado, evidenciando o papel alcalinizante da calda. O preparo da calda bordalesa promove a formação de vários compostos (PENTEADO, 2000), destacando-se o hidróxido de cobre, que é insolúvel em água.

De um modo geral, a aplicação de materiais orgânicos reduziu a quantidade de Cu no percolado, com exceção de LE na maior dose ( $2,109 \text{ mg L}^{-1}$ ). O total de Cu medido no percolado, em todos os tratamentos, estão acima dos níveis

recomendados pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), mas indica movimentação, pois a coluna utilizada tinha apenas 10 cm de altura.

O Cu é um dos metais pesados de menor mobilidade no solo, pois tem grande afinidade com colóides do solo (SMANHOTTO et al., 2010). No presente experimento, conduzido em solo muito intemperizado, os colóides minerais são de baixa atividade, pois possuem a fração argila dominada pela caulinita e por óxidos de Fe e Al (BERTOL et al. 2010). Houve adsorção de Cu em todos os tratamentos devido à presença de materiais orgânicos, com maior eficiência da leonardita. A leonardita é uma forma oxidada de lignito (carvão lenho-celulósico) rico em ácidos húmicos e fúlvicos (SUGIER et al., 2013).

**Tabela 2.** Teor de Cu percolado, removido por meio de ácidos fraco (vinagre) e forte (nitríco), não removido e porcentagem do total não removido de Latossolo Vermelho argiloso tratado com diferentes doses de fibra de coco (FC), bokashi (BO) e leonardita (LE), após aplicação de 60 mL de calda bordalesa contendo 152,7 mg L<sup>-1</sup> de cobre, em 47 dias de experimento.

Trat. <sup>1</sup>	Cu no percolado	Vinagre		Cu não removido	Ácido nítrico		Cu não removido
		Cu	Cu não		Cu	Cu não	
		extraído	removido		extraído	removido	
	----- mg L <sup>-1</sup> -----	-----	%	----- mg L <sup>-1</sup> -----	%		
LV	1,930	0,209	*	*	6,767	*	*
LV+CB	1,256	15,674	135,770	88,9	28,791	122,653	80,3
FC1	1,519	17,597	133,584	87,5	22,023	129,157	84,6
FC2	0,705	15,876	136,119	89,1	16,969	135,026	88,4
FC3	0,690	31,403	120,607	79,0	46,93	105,08	68,8
BO1	0,837	47,349	104,514	68,4	49,946	101,917	66,7
BO2	0,621	30,984	121,095	79,3	56,000	96,079	62,9
BO3	0,643	44,55	107,506	70,4	60,589	91,467	59,9
LE1	0,729	12,837	139,134	91,1	8,287	143,684	94,1
LE2	1,248	1,535	149,917	98,2	9,55	141,902	92,9
LE3	2,109	17,899	132,692	86,9	10,271	140,32	91,9

<sup>1</sup>Trat. (Tratamentos): LV = solo; LV+CB = solo + calda bordalesa; FC1 = solo + 3%FC; FC2 = solo + 6%FC; FC3 = solo + 9%FC; BO1 = solo + 150 g m<sup>-2</sup>; BO2 = solo + 300 g m<sup>-2</sup>; BO3 = solo + 450 g m<sup>-2</sup>; LE1 = solo + LE 1g kg<sup>-1</sup>; LE2 = solo + LE 2 g kg<sup>-1</sup>; LE3 = solo + LE 3 g kg<sup>-1</sup>; \* = não determinado.

Os valores encontrados no experimento para o cobre retido no solo (Tabela 2) estão acima do valor médio registrado por Martins em seu levantamento para solos do Estado de São Paulo. O valor médio registrado foi de  $0,187 \text{ mgL}^{-1}$ , bem abaixo dos valores registrados, que variaram de 104,514 a  $149,917 \text{ mgL}^{-1}$ .

Smanhotto et al. (2010) observaram que o cobre é retido mais facilmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos. A ligação do cobre com esses ácidos forma complexos estáveis de difícil extração e mobilidade, principalmente em solos deficientes. Isso fica evidente quando observada a porcentagem de retenção de cobre no solo pelas amostras tratadas com leonardita no experimento, que permaneceram acima de 90%. Houve menor remoção por ácidos no tratamento com leonardita (Tabela 2), sendo que o aumento da concentração deste material orgânico não implicou em aumento da retenção de Cu.

A fibra de coco também mostrou eficiência na manutenção do cobre no solo, com porcentagens de retenção por volta de 80%. Silva et al. (2013) observaram a capacidade de retenção de cobre pela fibra de coco e afirmam que essa característica se deve à composição da fibra, com predominância de lignina e celulose, biopolímeros reconhecidos na eficiência de remoção de metais pesados. Além disso, outros grupos funcionais presentes na casca do coco e sua grande porosidade facilitam a adsorção de metais.

Apesar da leonardita ainda ser um material de difícil acesso e com um valor elevado de compra, que pode chegar a US\$ 1.000,00 a tonelada, o experimento comprovou extrema eficiência na retenção de cobre no solo, superior aos outros tratamentos. As características de utilização deste produto (baixa concentração aplicada em grande volume de solo, poucas aplicações em longo espaço de tempo) também corroboram a eficiência do material, sendo uma boa fonte de matéria orgânica para solos que podem apresentar processo de contaminação por produtos à base de Cu. Uma hipótese que pode causar alteração nos resultados do experimento é o aumento da coluna de solo. Como o experimento foi realizado em uma coluna relativamente pequena, diferentes cenários podem ocorrer com a repetição em uma coluna com maior profundidade, inclusive podendo indicar que o Cu poderia não alcançar o nível do lençol freático.

Em processos de transição agroecológica, a utilização da leonardita pode ser aceita como insumo externo com o objetivo de melhoria das características do solo e atenuação de possíveis contaminantes resultantes do uso da área por processos de agricultura convencionais.

O uso indiscriminado de produtos na agricultura orgânica e de transição agroecológica, como a calda bordalesa, associada ou não a compostos orgânicos, pode causar danos aos envolvidos, sendo necessário cuidado e monitoramento, para que não se perca o apelo ambiental trazido por esse novo olhar sobre os cultivos agrícolas. O excesso de cobre em solos, água e alimentos pode causar doenças graves aos seres humanos e animais, além de ser um grande problema ambiental, quando avaliadas as características de bioacumulação de metais no ambiente.

Altieri (2004) aponta que os agricultores, em processos agroecológicos, podem ter a necessidade de utilizar insumos orgânicos ou alternativos externos para controlar doenças e problemas de solo. Quando esse processo é entendido como um desequilíbrio do ambiente, a adição desses materiais tem como foco a recuperação do que o agroecossistema precisa para se manter saudável. Nesse contexto, a adição de materiais como a leonardita, com o objetivo de atenuação da contaminação do solo e reestabelecimento das propriedades do sistema produtivo, pode ser muito eficaz para o alcance de uma produção mais saudável e sustentável (ALTIERI, 2004).

### **3.4 Conclusões**

- A adição de cobre por meio de calda bordalesa pode ser potencialmente contaminante para solos e águas, quando realizada de maneira sistemática por um período de tempo prolongado.

- A leonardita foi o tratamento que apresentou maior retenção de Cu no solo, porém, no percolado, quanto maior a concentração de leonardita aplicada na amostra, maior a concentração de Cu lixiviada.

- O bokashi foi o tratamento que reteve menor quantidade de Cu no solo. Apesar da concentração de Cu no percolado ter sido baixa quando comparada aos outros



tratamentos, o bokashi foi o material que teve maior concentração de Cu extraída por ácidos fraco e forte.

- A fibra de coco apresentou valores médios de concentração de Cu no percolado, mas a retenção no solo foi eficiente, porém menor do que a leonardita.

- A adição de materiais orgânicos causou redução na concentração de Cu lixiviado.

- É necessário avaliar o impacto que os materiais utilizados no experimento causam no seu processo de produção e transporte antes de concluir sua eficiência na atenuação de contaminação. A fibra de coco, por exemplo, pode demandar uma grande quantidade de água no seu processamento, o que reduz sua eficiência ambiental.

- Ajustes na metodologia aqui adotada poderão apontar resultados que evidenciem melhor resultados esperados.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo desta Dissertação foi discutir o comportamento do cobre e o potencial de contaminação de água e solo por este elemento, contido em produtos fitossanitários usados em sistemas alternativos.

Para isso, foi construída a hipótese de que produtos fitossanitários feitos à base de cobre (no caso do estudo, calda bordalesa), poderiam trazer um risco de contaminação ao ambiente agrícola, quando utilizados de maneira incorreta. Em contraponto a esta, uma segunda hipótese foi levantada, a de que a adição de insumos orgânicos ao sistema agrícola poderia ajudar na atenuação da contaminação por cobre adicionado por meio destes produtos.

É importante ressaltar que não só a calda bordalesa, mas também outros produtos fitossanitários podem apresentar metais pesados em sua composição. Esses produtos têm sua utilização permitida por lei em sistemas alternativos de produção agrícola. No entanto, não se conhece a fundo os efeitos que podem causar no solo e água onde são aplicados. São poucos os estudos que avaliam os malefícios da calda bordalesa, lodo de esgoto, resíduos industriais e agropecuários, entre outros, conhecidos por poder apresentar metais pesados em sua composição. É necessário um maior aprofundamento nesta questão, para assim construir

sistemas de produção que são realmente seguros ao ambiente a curto, médio e longo prazo.

Outro ponto que necessita ser aprofundado é sobre o comportamento dos insumos orgânicos utilizados no melhoramento do solo. Neste estudo produtos como o bokashi, fibra de coco e a leonardita foram levantados como possíveis atenuantes de contaminação por metais pesados, devido as suas características físico-químicas, e não somente como condicionantes de solo. Nesse aspecto, os produtores teriam alternativas para recuperar suas áreas de produção nos processos de transição aliado à manutenção das características do ambiente produtivo.

Os insumos permitidos nos sistemas de produção alternativos, principalmente na fase de transição, necessitam de avaliações tanto dos benefícios quanto dos malefícios que estes podem trazer durante a utilização. Além disso, produtos como a leonardita, produto orgânico importado que muitas vezes não permitido ou recomendado em cultivos alternativos, podem trazer muitos benefícios aos sistemas, podendo até substituir outros produtos. Insumos como a leonardita poderiam ser utilizados e seus benefícios explorados. Não se pode ignorar os benefícios desses insumos que podem ser grandes suportes na transição de sistemas produtivos convencionais aos alternativos, incentivando a produção sustentável em grande escala.

## 5 LITERATURA CITADA

ABREU JUNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, v. 4, p. 391-470.

ABREU, L. S. et al. Trajetória e situação atual da agricultura de base ecológica no Brasil e no estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 26, n.1/3, p. 149-178, 2009.

ALENCAR, G. V. et al. Percepção Ambiental e Uso do Solo por Agricultores de Sistemas Orgânicos e Convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032013000200001>.

ALLEONI, L. R. F. et al. Disponibilidade de cobre em solos de vinhedos após aplicação de calda bordalesa por vários anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, CD-ROM.

ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza Online**, Santa Tereza, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1004-1013, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>.

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 117 p.

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. São Paulo: Expressão Popular; Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012. 400 p.

ANDREAZZA, R. et al. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013.

ARAUJO NETO, S. E. et al. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1408-1413, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000099>.

ARIAS, M. et al. Copper distribution and dynamics in acid vineyard soils treated with copper-based fungicides. **Soil Science**, Baltimore, v. 169, p. 796-805, 2004. <https://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000148739.82992.59>

ARBOS, K. A. et al. Segurança alimentar de hortaliças orgânicas: aspectos sanitários e nutricionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, supl. 1, p. 215-220, 2010.

ASSIS, R. L. AGROECOLOGIA: Visão Histórica e Perspectivas no Brasil. In: Aquino, A. M.; Assis, R. L. (Org.). **AGROECOLOGIA: Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, ed.1, v. 1, p. 173-184, 2005.

AZEVEDO, R. A. B. de. Sucessão ecológica, entropia e o modelo autonomia-heteronomia para análise dos sistemas agrícolas. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 22,

n. 2, maio-agosto, 2017. <https://dx.doi.org/10.17058/redes.v22i2.9409>

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, suplemento, p. 856-881, 2014. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2014000700011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000700011&lng=en&nrm=iso). Acesso em março de 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>.

BAPTISTUSSI, R. C. **Efeitos de inseticidas biológicos (óleo de nim, *Azadirachta indica*, e entomopatógenos *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*) sobre a cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae), em cana-de-açúcar sob cultivo orgânico, em relação a mortalidade natural**. 2010. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural), Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2010.

BENITES, V. M. et al. **Aplicação foliar de fertilizante orgânico mineral e soluções de ácido húmico em soja sob plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. (Circular técnica, 35). 6 p.

BERTOL, O. J. et al. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1841-1850, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600008>.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição do lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-36.

BETTIOL, W.; GALVÃO, J. A. H. Efeito do lodo de esgoto na incidência da podridão do colmo do milho causada por *Fusarium*. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 243-253.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P.; CERRI, C. C. Efeito do lodo de esgoto na atividade microbiana do solo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Lodo de**

**esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 207-226.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistema de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100018>.

BOERINGA, R. (ed.) *Alternative Methods of Agriculture, Agriculture and Environment (Special Issue)*. Wageningen: Elsevier Scientific Publishing Company, Vol. 5, 187 p., 1980.

BORGUINI, R. G.; TORRES, E. A. F. S. Alimentos orgânicos: qualidade nutritiva e segurança do alimento. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 64-75, 2006.

BRANDENBURG, A. Movimento agroecológico: trajetória, contradições e perspectivas. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 6. p. 11-28. 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/05. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Diário Oficial da União, p. 58-63, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lei Nº 10831. Diário Oficial da União, Brasília, s. 1, p. 8, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lei Nº 4954. Diário Oficial da União, Brasília, s. 1, p. 2, 2004.

CARMELLO, C. R., CARDOSO, J. C. Effects of plant extracts and sodium hypochlorite on lettuce germination and inhibition of *Cercospora longissima* in vitro. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 245–249, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.056>.

CASALI, C. A. et al. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1479-1487, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400012>.

COELHO, F. C. **Composto orgânico**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. (Manual Técnico). 10 f.

COSTA, E. M. et al. Extrato aquoso de sementes de nim no controle de *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) em meloeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 401-406, 2016. <https://doaj.org/article/33895daf5167456999800a6deeeeb84a>.

DINIZ, L.P. et al. Avaliação de produtos alternativos para controle da requeima do tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, n. 31, p.171-179. 2006.

EHLERS, E. M. **O que se entende por agricultura sustentável?** Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

EHLERS, E. M. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. São Paulo: Ed. Livros da Terra, 178 p. 1996.

EMBRAPA. **Marco referencial em agroecologia**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2006. 70 p.

FARIA, L. M. S. Aspectos gerais da Agroecologia no Brasil. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 6, n. 2, p. 101-112, 2014. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v6n22014556>.

FELIX, F. F. **Comportamento do cobre aplicado no solo por calda bordalesa**. 2005. 74 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005. <https://doaj.org/10.11606/D.11.2005.tde-09092005-143249>.

FIOR, R. C. **Monitoramento ambiental de zinco em produtos agrícolas**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2012, Piracicaba, 2012. <https://doaj.org/10.11606/D.64.2012.tde-25102012-101635>



FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 146-150, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000200004>.

GLEISSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Editora Universidade/UFRGS, Porto Alegre, 2000

GOMES, M. A. F., BARIZON, R. R. M. **Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente (Documentos 98). 2014. 35 p.

GUERRA FILHO, P. A. **Qualidade da água superficial em propriedade rural com sistema de produção orgânica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016. <http://dx.doi.org/10.11606/T.11.2016.tde-28092016-151442>.

GURGEL, M. N. A. **Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como fertilizante organomineral granulado**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

HENRIQUES, F. S. **The green revolution and the molecular biology**. Revista de Ciências Agrárias, Lisboa, 32(2), 245-254, 2009. Disponível em [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2009000200022&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2009000200022&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: março de 2018.

HUAMÁN PINO, G. A. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*cocos nucifera*)**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Metalúrgica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.7596>.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatísticas históricas do Brasil: séries econômicas, demográficas e sociais de 1550 a 1988**. Rio de Janeiro, ed.2, 642 p, 1990.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006** – 2ª apuração - Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv61914.pdf>>. Acesso em: março de 2018.

JESUS, N. N. M. **Remoção de céσιο e amerício utilizando fibra de coco para a aplicação no tratamento de rejeitos radioativos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2013. <https://doi.org/10.11606/D.85.2013.tde-18022014-140011>.

KITAMURA, P. C. Agricultura sustentável no Brasil: avanços e perspectivas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, 27, p. 7-28, 2003.

KUHN, I. A. **análise multi-elementar e transferência de metais e isótopos de chumbo no sistema planta – solo - água subterrânea em área contaminada por calda bordalesa na região vinífera de Palomas, município de Santana do Livramento, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2011. <http://hdl.handle.net/10183/55612>.

LIMA, S. A. A. et al. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 2, p. 92-99. 2006.

LOUREIRO, D. C. et al. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 7, p. 1043-1048, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700018>.

MACHADO, M. A. C. F. **Biofertilizante como ferramenta para incrementar a diversidade microbiana visando o manejo de doenças de plantas**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) ,Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2010.

MAGRINI, F. E. et al. Características químicas e avaliação microbiológica de diferentes fases de maturação do biofertilizante Bokashi. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 12, p. 146-151, 2011.

MARANGONI, C. et al. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.6, n.2, p. 95-112, 2012. MARCHIORI JUNIOR, M. **Impacto ambiental da citricultura nos teores de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2002.

MARTINS, S. C. **Adsorção e dessorção de cobre em solos sob aplicação de lodo de esgoto e calda bordalesa**. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005. <http://dx.doi.org/10.11606/D.11.2005.tde-09092005-154045>.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MENDES, A. M. S. et al. Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.8, p.791–796, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800001>.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. Metrópole, Porto Alegre, p. 1-4, 2008.

MOTA, N. F. **Efeito do Bokashi no crescimento da cebolinha, do coentro e em alguns atributos químicos e biológicos do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MUNHOZ, C. M. G. et al. **Normativa de Produção Orgânica no Brasil: a percepção dos agricultores familiares do assentamento da Chapadinha, Sobradinho**

(DF). Piracicaba, v. 54, n. 02, p. 361-376, 2016. DOI: 10.1590/1234.56781806-94790054020

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeito do biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduo para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. (Circular técnica, 59). 7 p.

OGIYAMA, S. et al. Accumulation of zinc and copper in an arable field after animal manure application. **Soil Science & Plant Nutrition**, Tokyo, v.51, n.6, p.801-808, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00114.x>.

PASCHOAL, A.D. O ônus do modelo da agricultura industrial. **Revista Brasileira de Tecnologia**. Brasília, v. 14, n.1, p.17-27, 1983.

PENTEADO, S. R. **Controle alternativo de pragas e doenças com as caldas bordalesa sulfocálcica e viçosa**. Campinas, Bueno Mendes Gráfica e Editora, 2000.

PERTUIT, A. J.; DUDLEY, J. B.; TOLER, J. E. Leonardite and fertilizer levels influence tomato seedling growth. **HortScience**, Clemson, n. 36, p. 913-915, 2001.

PETTER, F. A. et al. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 699-706, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000500010>.

PIRES, A. C. D. **Interação dos metais  $Zn^{2+}$  e  $Pb^{2+}$  com os constituintes orgânicos e minerais de solo de Curitiba, PR**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PRADO JÚNIOR, C. História econômica do Brasil. São Paulo: Brasiliense, 2012. 364 p.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no Nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011. Disponível em <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/342/131>. Acesso em março de 2018.

RHEINHEIMER, A. R. et al. Produtos fitossanitários alternativos no controle da mosca-branca (*Bemisia tuberculata*) (Matile-Ferrero) na mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1419-1426, 2012.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 556-562, 1994. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161994000300030>.

RODOLFO JUNIOR, F.; CAVALCANTE, L. F.; BURITI, E. S. Crescimento e produção do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizante e adubação mineral com NPK. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 149-160, 2009.

ROMEIRO, A. R. Agricultura sustentável, tecnologia e desenvolvimento rural. **Agricultura Sustentável**. Jaguariúna, v. 3, n. 1/2, p. 34-42, 1996.

SAITO, M. L. **O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. (Documentos, 64). 35 p.

SANTOS, G. C. G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn e Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 793-804, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000400019>.

SANTOS, S. S. et al. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 3, p. 549-552, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000300032>.

SEDIYANA, M. A. N. et al. Fermentação de esterco de suínos para uso como adubo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina

Grande, v. 12, n. 6, p. 638-644, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600011>.

SILVA, A. T.; SILVA, S. T. Panorama da agricultura orgânica no Brasil. **Segurança Alimentar e Nutrição**, Campinas, v.23, p.1031-1040, 2016. Número especial. <http://dx.doi.org/10.20396/san.v23i2.8635626>.

SILVA, C. A. et al. Dinâmica de metais pesados em latossolo adubado com lodo de esgoto e em plantas de milho. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 45-77.

SILVA, K. M. D. et al. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **Engevista**, Niterói, v. 15, n. 1, p. 43-50, 2013.

SMANHOTTO, A. et al. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.346-357, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200017>.

SMITH, E. D.; JACOBS, J. L. **Leonardite: a mined source of humic acid**. Proceedings of the North American Blueberry Research and Extension Workers Conference, 2014. (Paper presented at NABREW Conference, Paper Session I: Blueberry Culture, on June 24, 2014, Atlantic City, N.J). <http://dx.doi.org/doi:10.7282/T38S4RM6>.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 324-330, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422001000300008>.

SORJ, B. Estado e classes sociais na agricultura brasileira. **Centro Edelstein de Pesquisas Sociais**, Rio de Janeiro, 135 p, 2008. Disponível no SciELO Books. Consultado em março de 2018.

SPOSITO, E. C. **Agricultura orgânica do estado do Espírito Santo: diversidade e comercialização de seus produtos na região metropolitana de Vitória.**

Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

SUGIER, D.; KOLODZIEJ, B.; BIELINSKA, E. The effect of application on Arnica Montana L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. **Journal of Geochemical Exploration**, Lublin, n. 129, p. 76-81, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.013>.

Thomson, C. R. **Sistemas participativos de garantia: o caso da Associação de Agricultura Natural de Campinas (SP) e Região - muito além do controle.** Dissertação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

TIMM, P. J.; GOMES, J. C. C.; MORSELLI, T. B. Insumos para agroecologia: Pesquisa em vermicompostagem e produção de biofertilizantes líquidos. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, 29, p. 131-140, 2004.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Mobilidade do zinco e do cobre em Argissolo com aplicação de argila bentonita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p. 938-945, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900003>.

VARGAS, C. et al. Phytoremediation of Cu and Zn by vetiver grass in mine soils amended with humic acids. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 23, n. 13, p. 13521-13530, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6430-x>.

VENDRUSCOLO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado com cobre.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VINHAL-FREITAS, I. C. et al. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficiente de isotermas de Freundlich e Langmuir. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.31, n. 2, p. 153-163, 2010.

WEHR, P. P. **Biofertilizantes, a base de esterco bovino, no controle de *Phytophthora nicotianae* em citros.** Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural), Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2014.

ZANDONADI, D. B. et al. Ação de matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000100003>.



## **APÊNDICE**

**Apêndice 1.** Estatística descritiva dos dados de concentração de Cu nas amostras de percolado.

<b>Trat.<sup>1</sup></b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>	<b>Mediana</b>	<b>CV</b>
	----- mg L <sup>-1</sup> -----					
FB3%	0,690	0,000	0,169	0,233	0,062	1,380
FB6%	0,116	0,047	0,078	0,024	0,070	0,311
FB9%	0,155	0,031	0,077	0,044	0,054	0,571
BO150	0,194	0,047	0,093	0,057	0,062	0,618
BO300	0,109	0,000	0,069	0,035	0,070	0,500
BO450	0,109	0,000	0,071	0,033	0,078	0,456
LE1	0,140	0,000	0,081	0,048	0,078	0,598
LE2	0,822	0,000	0,139	0,259	0,047	1,866
LE3	1,690	0,000	0,234	0,547	0,062	2,333

<sup>1</sup>Trat. (Tratamentos): LV = solo; LV+CB = solo + calda bordalesa; FC1 = solo + 3%FC; FC2 = solo + 6%FC; FC3 = solo + 9%FC; BO1 = solo + 150 g m<sup>-2</sup>; BO2 = solo + 300 g m<sup>-2</sup>; BO3 = solo + 450 g m<sup>-2</sup>; LE1 = solo + LE 1g kg<sup>-1</sup>; LE2 = solo + LE 2 g kg<sup>-1</sup>; LE3 = solo + LE 3 g kg<sup>-1</sup>; \* = não determinado.

**Apêndice 2.** Estatística descritiva dos dados de concentração de Cu extraído por ácido fraco e forte.

Trat. <sup>1</sup>	Vinagre						Ácido nítrico					
	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Mediana	CV	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Mediana	CV
	-----mgL <sup>-1</sup> -----						-----mgL <sup>-1</sup> -----					
FB3%	17,43	0,07	5,87	10,02	0,09	1,71	16,95	2,43	7,34	8,32	2,64	1,13
FB6%	11,60	0,16	5,29	5,81	4,11	1,09	7,56	3,98	5,66	1,79	5,43	0,32
FB9%	30,66	0,25	10,47	17,49	0,50	1,67	27,72	5,95	15,64	11,08	13,26	0,71
BO150	47,02	0,12	15,78	27,05	0,22	1,71	44,67	2,54	16,65	24,26	2,74	1,46
BO300	30,39	0,16	10,33	17,37	0,43	1,68	44,97	3,27	18,67	22,89	7,76	1,23
BO450	43,13	0,16	14,85	24,50	1,26	1,65	45,25	6,88	20,19	21,71	8,46	1,07
LE1	12,08	0,07	4,28	6,77	0,68	1,58	3,84	2,08	2,76	0,94	2,36	0,34
LE2	1,02	0,11	0,51	0,46	0,41	0,90	4,28	2,46	3,18	0,96	2,81	0,30
LE3	15,39	0,85	5,97	8,17	1,66	1,37	4,26	2,73	3,42	0,77	3,29	0,23

<sup>1</sup>Trat. (Tratamentos): LV = solo; LV+CB = solo + calda bordalesa; FC1 = solo + 3%FC; FC2 = solo + 6%FC; FC3 = solo + 9%FC; BO1 = solo + 150 g m<sup>-2</sup>; BO2 = solo + 300 g m<sup>-2</sup>; BO3 = solo + 450 g m<sup>-2</sup>; LE1 = solo + LE 1g kg<sup>-1</sup>; LE2 = solo + LE 2 g kg<sup>-1</sup>; LE3 = solo + LE 3 g kg<sup>-1</sup>; \* = não determinado.