

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIENCIAS AGRÁRIAS

JUCIMARE ROMANIW

RESÍDUOS DE ABATEDOURO NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA,  
RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA - PR

2018

JUCIMARE ROMANIW

RESÍDUOS DE ABATEDOURO NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA,  
RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Tese apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para a obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura. Ênfase em Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá.

PONTA GROSSA - PR

2018

R758                      Romaniw, Jucimare  
Resíduos de abatedouro na dinâmica da matéria orgânica,  
retenção de água no solo, produtividade das culturas e eficiência em  
sistema de plantio direto/ Juciamre Romaniw. Ponta Grossa, 2018.  
108 f.; il.

Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração –  
Agricultura – Ênfase em Uso e Manejo do Solo), Universidade  
Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

1. Resíduos orgânicos – abatedouro. 2. Carbono do solo. 3.  
C-CO<sub>2</sub> equivalente. 4. Percolação de nitrato. I. Sá, João Carlos  
de Moraes. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa- Pós-  
Doutorado em Agronomia. III. T.

CDD : 631.4

Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos– CRB9/986



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Tese: "Resíduos de abatedouro na dinâmica da matéria orgânica, retenção de água no solo, produtividade das culturas e eficiência energética em sistema plantio direto".

Nome: Jucimare Romaniw

Orientador: João Carlos de Moraes Sá

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá

Prof. Dr. Beatriz Monte Serrat

Dr. Gabriel Barth

Dr.ª Lutécia Beatriz Canalli

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa

Data da Realização: 21 de Junho de 2018.

## **DEDICO**

A minha filha PIETRA,  
quem me ensinou o verdadeiro  
sentido da palavra amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Bem sei que corro o risco de não dar conta desse ‘muitíssimo obrigado’ como é merecido, porque será difícil exprimir a beleza que foi esse movimento de energias e impulsos que foram chegando. Por tudo isso se destaca também, para além da mera formalidade, um sentido: o da formação de uma verdadeira rede de solidariedade e de muito, muito afeto.

Antes de tudo, quero agradecer a Deus, por ter abençoado todos os dias da minha vida, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em especial ao curso de Pós Graduação em Agronomia pela estrutura, suporte e apoio prestado.

Aos Professores desta Instituição, pela qualidade de ensino e contribuição à minha formação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá, tenho muito orgulho de citá-lo como um dos responsáveis pela minha formação profissional. Agradeço pela confiança, pela amizade, conselhos e paciência. O senhor é um exemplo de simplicidade, compreensão e competência. Todos que trabalham com o senhor admiram sua dedicação e amor ao trabalho, e a pesquisa. Enfim, vai muito além do que o dever impõe. Preocupado não só com a realização do trabalho, mas principalmente com o ser humano. Aprendemos a trabalhar em grupo, a respeitar o próximo e, principalmente, que é muito mais fácil multiplicar quando sabemos dividir.

Agradeço-o pela oportunidade em fazer parte do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, pela confiança depositada em mim, e por sempre compartilhar o seu vasto conhecimento de maneira inspiradora. Poucas serão as palavras para agradecer a importância que representou em minha carreira e em minha vida por ter me acolhido como sua orientada. Muito obrigada!

Ao Cristian Alexander Singer Aplevicz, meu querido marido, que esteve presente, por toda ajuda compreensão e paciência, pelo amor, carinho e incentivo dedicados em todos os momentos. Agradeço-o por participar de todas as etapas de realização e conclusão deste trabalho, sempre me ouvindo e colaborando com muita sabedoria para o aperfeiçoar minhas ideias e argumentos.

A minha filha, Pietra, que traz tanta luz e gosto para minha vida, um amor especial. Você é a lição mais profunda que vivi de ética, dignidade e amor... Saudavelmente chegou ao

mundo na manhã de 01 de julho de 2016 durante esse curso de doutorado, complementando minha vida e mostrando o real sentido a palavra amor.

Aos meus pais, João e Paulina, que muitas vezes se doaram e renunciaram aos seus sonhos, para que eu pudesse realizar os meus. Quero dizer que essa conquista não é só minha, mas nossa. Tudo que consegui só foi possível graças ao amor, apoio e dedicação que vocês sempre tiveram por mim. Sempre me ensinaram agir com respeito, simplicidade, dignidade, honestidade e amor ao próximo. E graças à união de todos, os obstáculos foram ultrapassados, vitórias foram conquistadas e alegrias divididas. Agradeço pela paciência e compreensão com minha ausência durante essa longa jornada. MUITÍSSIMO OBRIGADO.

Ao meu irmão Jocemar, pela amizade, carinho e companheirismo de sempre; por estar sempre torcendo pelas minhas conquistas. Pelo apoio e incentivo incondicional. Obrigado!

À estimada Fazenda Escola Capão da Onça pela ccessão da área experimental e por toda ajuda, paciência e solicitude em contribuir para o máximo desempenho do experimento em campo. Muito obrigada!

A todos os colegas e amigos dos Laboratórios Matéria Orgânica e de Fertilidade do Solo, em especial, à técnica laboratorial Jaqueline A. Gonçalves e aos alunos de graduação e pós em Agronomia: Alessandra Ap. Padilha, Rafael Schmiguel, Daiani da Cruz Hartman, pela ajuda nas análises. Aos colegas Ademir de Oliveira Ferreira, Clever Briedis, Thiago Massao Inagaki e Daniel Ruiz Potma, pelo valoroso incentivo e apoio.

Ao querido amigo, colega de doutorado e compadre André Carlos Auler que compartilha comigo o “dom” de falar demais, agradeço pela amizade, companheirismo, ajuda prestada, e pelos momentos/café compartilhados;

Aos amigos Shively Los Galetto, Karina Erdman, Carla Fernanda Ferreira, Isis e Diego K. Ribeiro pelo apoio e incentivo prestados.

Aos funcionários da Universidade Estadual de Ponta Grossa, principalmente, à Nilcéia Alvez de Lara, Zima Richter e Luciane Hennemberg, por todo auxílio, apoio e amizade.

A todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Até ai morreu Neves!”

Aqui: “No have free lunch!”

(*João Carlos de Moraes Sá*, de 1800 aos dias atuais)



**ROMANIW, JUCIMARE. RESÍDUOS DE ABATEDOURO NA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.**

2018. Tese apresentada como requisito parcial de obtenção de título de doutor em Agricultura. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

**RESUMO**

O descarte inadequado de resíduos orgânicos de abatedouros de aves e suínos pode promover a poluição ambiental. Seu uso aliado ou não a adubação mineral nas rotações de culturas no sistema de plantio direto na região dos Campos Gerais seria uma alternativa viável para o aproveitamento desse resíduo. No entanto, visando otimizar a produtividade agrícola e a qualidade ambiental, devem ser estudadas dosagens adequadas para uso, combinando perda e aumento de nutrientes, matéria orgânica e produtividade das culturas. Além disso, é de extrema importância monitorar a qualidade do solo na determinação do risco de qualidade ambiental proporcionado pelo uso de altas doses de resíduos orgânicos dispostos no solo. Assim, o experimento foi conduzido utilizando diferentes níveis de adubação de resíduos orgânicos industriais (ROI) (0, 25, 50, 75, 100% de resíduos orgânicos) combinados com adubação mineral (FMI) (0, 25, 50, 75, 100%) nas seguintes proporções 0%; 100% ROI; 100% FMI; 75% FMI + 25% ROI; 50% ROI + 50% FMI. O experimento teve início em 2009 e foi acompanhado até 2015 sob plantio direto e rotação de culturas (feijão / trigo / soja / aveia / milho / trigo). Amostras de solo foram coletadas após 5 safras para avaliações de carbono (C) e suas frações. Experimentos de laboratório para avaliar a qualidade do solo foram conduzidos para avaliar o equivalente na emissão de C-CO<sub>2</sub>, percolação e mineralização de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em solo não revolvido e revolvido sob doses crescentes de ROI (0, 0,5, 1, 2, 4 e 8 Mg ha<sup>-1</sup>) em laboratório. Também foram avaliados os pools de carbono orgânico do solo (COS) compostos por C total, C orgânico permanganato oxidável e C orgânico extraível por água quente, e atributos físicos do solo através da densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporos porosidade, e retenção de água. Os resultados indicaram que o uso de ROI e FMI + ROI têm um bom potencial no sequestro de C no solo na mitigação de CO<sub>2</sub> sem qualquer custo adicional. Ao contrário, aumentou a produção e retorno líquido da maioria das culturas. O uso do ROI 100 reduziu a densidade do solo, aumentou a porosidade total e microporos e melhorou a estrutura do solo, resultando em melhor retenção de água e que o teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tem seu potencial de disponibilidade para as plantas após 40 dias da aplicação do ROI, sendo assim indicado a aplicação do resíduo antecedendo o plantio da cultura,

aproveitando assim o potencial de liberação. Assim conclui-se que o ROI proporciona aumentos no C do solo levando ao aumento da produtividade das culturas, da qualidade química e física do solo.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos de abatedouro, Carbono do solo, C-CO<sub>2</sub> equivalente, Percolação de nitrato.

**ROMANIW, JUCIMARE. WASTE RESOURCES IN THE DYNAMICS OF ORGANIC MATTERS, WATER RETENTION IN SOIL, CULTIVATION PRODUCTIVITY AND ENERGY EFFICIENCY IN DIRECT PLANTIO SYSTEM.** 2018. Thesis presented as partial requirement to obtain a doctorate in Agriculture. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

### **ABSTRACT**

Inadequate disposal of organic solids from poultry and pig slaughterhouses can promote environmental pollution. Your use ally or non the mineral fertilization in rotations of wood in no-tillage system in the Campos region. However, in order to optimize agricultural productivity and environmental quality, the administration of the use variables should be studied, combining loss and increase of nutrients, organic matter and crop productivity. In addition, the quality of the soil to the extent of the environmental quality risk provided by the use of high doses of organic waste is not of the utmost importance. Thus, it was resistant to maintaining levels of industrial organic fertilization (IOW) (0, 25, 50, 75, 100% organic waste) combined with mineral fertilization (MF) (0, 25, 50, 75, 100%). The experiment started in 2009 and was harvested until 2015 under no-tillage and crop speed (beans / wheat / soybean / bird / corn / wheat). Soil samples were collected after 5 harvests for carbon (C) evaluations and their fractions. Soil Quality Laboratory Analyzers were conducted for the use of C-CO<sub>2</sub>, percolation in unroot and upturned soil and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mineralization under increasing doses of ROI (0, 0.5, 1, 2, 4 an 8 Mg ha<sup>-1</sup>). The sets of CO by C, Corning permanganate oxable and C, seismic by hot water, and soil physical components were highlighted by soil density, total porosity, macro and micro porosity, and water retention. The results indicated that the use of IOW and MF + IOW had a good potential in soil C sequestration in CO<sub>2</sub>-C mitigation at any additional cost. On the contrary, it increased the yield and liquid of most crops. The use of IOW 100 reduced soil density, increased its total and micro efficiency and improved soil structure resulting in higher water retention and that N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content has its potential availability for applications after 40 days of application of the IOW , thus being designated an application of pre-planting of crop, thus taking advantage of the potential of release. Thus, it is concluded that IOW offers increases in soil performance and increases crop productivity, soil chemistry, soil physical and biological.

Key-words: Organic Slaughterhouse residue, soil carbon, C-CO<sub>2</sub> equivalent, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> leaching.

## LISTA DE FIGURAS

|            | Pag |
|------------|-----|
| Figura 1.1 | 27  |
| Figura 1.2 | 37  |
| Figura 1.3 | 37  |
| Figura 1.4 | 38  |
| Figura 1.5 | 39  |
| Figura 1.6 | 40  |
| Figura 1.7 | 41  |
| Figura 1.8 |     |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | de LSD 5%.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 42 |
| Figura 2.1  | Disposição do experimento para avaliação da percolação de nitrato. Tubos de PVC contendo amostras de solo não revolvido ou revolvido com adição ou não de ROI em experimento de análise de percolação de $\text{N-NO}_3^-$ .....                                                                                                                                       | 58 |
| Figura 2.2  | Série de dados no período de 44 anos em Ponta Grossa: distribuição mensal da precipitação pluviométrica (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■ Tmax.) e temperatura mínima (● Tmin.) para os meses de janeiro a dezembro. Fonte: IAPAR,2010.....                                                                                                      | 59 |
| Figura 2.3  | Frascos de polipropileno contendo solo peneirado com adição ou não de resíduo de abatedouro utilizado no experimento para avaliação da mineralização de $\text{N-NO}_3^-$ .....                                                                                                                                                                                        | 60 |
| Figura 2.4  | Percolação de nitrato e água percolada em solo com diversas doses de resíduo de abatedouro em coluna com solo não revolvido de acordo com tempo de coleta em dias. Tratamentos: - □ controle; ■ 0,5 Mg ROI; ▲ 1 Mg de ROI; × 2 Mg de ROI; ○ 4 Mg de ROI; ● 8 Mg de ROI.....                                                                                            | 63 |
| Figura 2.5  | Percolação de nitrato e água percolada em solo com diversas doses de resíduo de abatedouro em coluna com solo revolvido de solo de acordo com tempo de coleta em dias. Tratamentos: - □ controle; ■ 0,5 Mg ROI; ▲ 1 Mg de ROI; × 2 Mg de ROI; ○ 4 Mg de ROI; ● 8 Mg de ROI.....                                                                                        | 64 |
| Figura 2.6  | Concentração de $\text{N-NO}_3^-$ presente na água percolada em solo incubado após 180 dias com doses crescentes de ROI em coluna com solo não revolvido (NRE ●) e com solo revolvido (RE ♦).....                                                                                                                                                                      | 67 |
| Figura 2.7  | Nitrato remanescente no solo após período de percolação (180 dias) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 e 0-20 cm em coluna de solo revolvido (A) e não revolvido (B) após período de 180 dias em resposta a adição de doses crescentes de ROI (0, 0,5, 1, 2, 4 e 8 $\text{Mg ha}^{-1}$ ).....                                                                             | 68 |
| Figura 2.8  | Quantidade de nitrato mineralizado em coluna de solo (0-20 cm) incubado por 180 dias com doses crescentes de ROI com solo não revolvido (●).....                                                                                                                                                                                                                       | 69 |
| Figura 2.9  | Concentração de $\text{N-NO}_3^-$ em água percolada e mineralização de $\text{N-NO}_3^-$ ( $\text{N-NO}_3^-$ remanescente) ao final do período de incubação nas colunas em solo não revolvido (NRE) (●) e revolvido (♦) na camada 0-20 cm ao final do período de incubação (180 dias) em solo tratado com doses de ROI (0, 0,5, 1, 2, 4 e 8 $\text{Mg ha}^{-1}$ )..... | 70 |
| Figura 2.10 | Figura 2.10 Nitrato mineralizado em solo revolvido com diversas doses de resíduo orgânico. ● Controle; ♦ 500 kg resíduo orgânico por ha (ROI); ■ 1000 $\text{kg ha}^{-1}$ ROI; ▲ 2000 $\text{kg ha}^{-1}$ ROI; ○ 4000 $\text{kg ha}^{-1}$ ROI; □ 8000 $\text{kg ha}^{-1}$ ROI.....                                                                                     | 71 |
| Figura 2.11 | Conteúdo de nitrato acumulado em solo após 120 dias de incubação com aplicação de doses crescentes de ROI segundo ordem de crescente de pontos: 0, 0,5, 1, 2, 4 e 8 $\text{Mg ha}^{-1}$ .....                                                                                                                                                                          | 72 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.12 | Comparação entre mineralização de $\text{N-NO}_3^-$ e percolação de nitrato em solo acumuladas aos 120 dias de experimento com dose crescente de resíduo de abatedouro ROI adicionado.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 73 |
| Figura 3.1  | Produtividade acumulada de grãos para cada tratamento entre 2009 e 2015.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 91 |
| Figura 3.2  | Curvas de retenção de água nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função de diferentes métodos de fertilização. Controle: sem fertilizantes; FMI: 100% fertilizante mineral industrial; ROI: 100% de resíduo orgânico industrial de matadouro; ROI 50 + FMI 50: 50% de ROI + 50% do FMI.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 94 |
| Figura 3.3  | Biplots das funções discriminantes lineares (LD) considerando os atributos físicos e estruturais [densidade aparente (DB), porosidade total (TP), macro (Ma) e microporosidade (Mi)] e texturais (areia, silte e argila), a retenção de água nos potenciais máximos de -10, -100 e -700 kPa ( $\theta_{10}$ , $\theta_{100}$ e $\theta_{700}$ ) e os pools de carbono orgânico no solo lábil [carbono orgânico total do solo (SOC), carbono orgânico extraível com água quente e carbono orgânico oxidável permanganato nas camadas de 0-10 e 10-20 em função de diferentes tratamentos de adubação.....                 | 95 |
| Figura 3.4  | Biplots dos componentes principais (PC) considerando os atributos estruturais físicos [densidade aparente (DB), porosidade total (TP), macro (Ma) e microporosidade (Mi)] e texturais (areia, silte e argila), retenção de água nos potenciais máximos de -10, -100 e -700 kPa ( $\theta_{10}$ , $\theta_{100}$ e $\theta_{700}$ ) e dos reservatórios de carbono orgânico no solo lábil [Carbono orgânico total do solo (SOC), carbono orgânico extraível com água quente (HWEOC) e permanganato carbono orgânico oxidável (POXC)] nas camadas de 0-10 e 10-20 em função de diferentes tratamentos de fertilização..... | 96 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                   | Pag |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1.1 Taxas de NPK aplicadas conforme tratamento com 100% de fertilizante mineral industrial (FMI) e com resíduo orgânico industrial (ROI).....                                                                                              | 29  |
| Tabela 1.2 Taxa de entrada de ingredientes ativos utilizados na proteção de culturas conforme as safras.....                                                                                                                                      | 31  |
| Tabela 1.3 Entradas de carbono da biomassa via matéria seca (acima e abaixo do solo) e referente a aplicação de resíduos orgânicos industrial de acordo com cada tratamento entre 2009 e 2014.....                                                | 32  |
| Tabela 1.4 Valores referenciais utilizados nos cálculos de custo energético em carbono equivalente de acordo com operações, custos e produções.....                                                                                               | 34  |
| Tabela 1.5 Equivalentes de energia para a produção de meios em C-CO <sub>2</sub> Eq.....                                                                                                                                                          | 35  |
| Tabela 2.1 Atributos químicos do solo da área experimental, antes da implantação do experimento em junho de 2009 em um Cambissolo Háplico, Ponta Grossa – PR.....                                                                                 | 57  |
| Tabela 3.1 Taxa de NPK aplicado por tratamento com 100% de fertilizante mineral industrial (FMI) e por resíduos orgânicos industriais (ROI).....                                                                                                  | 87  |
| Tabela 3.2 Biomassa de C via resíduos de culturas e dos resíduos orgânicos industriais para cada tratamento durante o período experimental.....                                                                                                   | 88  |
| Tabela 3.3 Carbono orgânico total do solo (COS), COS extraído por água quente e COS oxidado por permanganato afetado pela aplicação de fertilizante mineral industrial e resíduo orgânico de abatedouro nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm..... | 92  |
| Tabela 3.4 Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em resposta a diferentes tratamentos de fertilização.....                                                                                  | 93  |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                        | Pag |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>                                                                                                                                                           | 19  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                                                                                 | 21  |
| <b>1   CAPITULO 1 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MITIGAÇÃO DE C<br/>DEVIDO AO USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS INDUSTRIAIS NA<br/>FERTILIZAÇÃO DOS CULTIVOS EM SISTEMA PLANTIO<br/>DIRETO.....</b> | 22  |
| <b>1.1   RESUMO.....</b>                                                                                                                                                               | 22  |
| <b>1.2   ABSTRACT.....</b>                                                                                                                                                             | 23  |
| <b>1.3   INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                           | 24  |
| <b>1.4   MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                                                                                                                                   | 27  |
| 14.1 <i>Localização e descrição da área experimental.....</i>                                                                                                                          | 27  |
| 14.2 <i>Desenho experimental, descrição dos tratamentos e condução do experimento.....</i>                                                                                             | 28  |
| 14.3 <i>Caracterização do resíduo orgânico industrial oriundo do abatedouro de aves<br/>e suínos.....</i>                                                                              | 30  |
| 14.4 <i>Critérios para calcular os parâmetros energéticos.....</i>                                                                                                                     | 30  |
| 14.5 <i>Cálculo da energia equivalente de componentes agrônômicos.....</i>                                                                                                             | 31  |
| 14.6 <i>Conversão em carbono equivalente (CE).....</i>                                                                                                                                 | 33  |
| 14.7 <i>Análise estatística.....</i>                                                                                                                                                   | 35  |
| <b>1.5   RESULTADOS.....</b>                                                                                                                                                           | 36  |
| 1.5.1 <i>Produção agrônômica e balanço energético do sistema de produção.....</i>                                                                                                      | 36  |
| 1.5.2 <i>Aumento no estoque de C e interações com o balanço energético.....</i>                                                                                                        | 39  |
| 1.5.3 <i>Potencial de mitigação de C-CO<sub>2</sub> em resposta ao uso de resíduos orgânicos<br/>industriais.....</i>                                                                  | 41  |
| <b>1.6   DISCUSSÃO.....</b>                                                                                                                                                            | 43  |
| 1.6.1 <i>Eficiência energética do sistema de produção devido ao uso de resíduos<br/>orgânicos industriais.....</i>                                                                     | 43  |
| 1.6.2 <i>Compensação de C e benefícios ecossistêmicos com o uso de resíduos<br/>orgânicos industriais.....</i>                                                                         | 44  |
| 1.6.3 <i>Impacto do uso de resíduos orgânicos industriais em larga escala.....</i>                                                                                                     | 45  |
| <b>1.7   CONCLUSÃO.....</b>                                                                                                                                                            | 46  |
| <b>1.8   REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                                                                           | 47  |
| <b>2   CAPITULO 2. MOVIMENTO DO NITRATO EM COLUNAS DE SOLO<br/>COM E SEM REVOLVIMENTO EM RESPOSTA AO USO DE<br/>RESÍDUOS ORGÂNICOS INDUSTRIAIS.....</b>                                | 53  |
| <b>2.1   RESUMO.....</b>                                                                                                                                                               | 53  |



|         |                                                                                                                                                                                    |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2     | <b>ABSTRACT.....</b>                                                                                                                                                               | 54 |
| 2.3     | <b>INTROUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                              | 55 |
| 2.4     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                                                                                                                                    | 57 |
| 2.4.1   | <i>Características do solo e do resíduo orgânico industrial.....</i>                                                                                                               | 57 |
| 2.4.2   | <i>Análise da percolação de nitrato.....</i>                                                                                                                                       | 58 |
| 2.4.3   | <i>Controle Pluviométrico.....</i>                                                                                                                                                 | 58 |
| 2.4.4   | <i>Experimento para determinação da mineralização de nitrato.....</i>                                                                                                              | 59 |
| 2.4.5   | <i>Análise estatística.....</i>                                                                                                                                                    | 60 |
| 2.5     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                                                                                                                                 | 62 |
| 2.5.1   | <i>Evidências do estudo de incubação.....</i>                                                                                                                                      | 62 |
| 2.5.2   | <i>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> remanescente no solo.....</i>                                                                                                                      | 67 |
| 2.5.3   | <i>Mineralização de nitrato com incubação do solo.....</i>                                                                                                                         | 70 |
| 2.6     | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                                                                                                                              | 75 |
| 2.7     | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>                                                                                                                                             | 76 |
| 3       | <b>CAPITULO 3. IMPACTO DO USO DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS NA ADUBAÇÃO DE CULTURAS EM AGRICULTURA DE CONSERVAÇÃO SOBRE ARMAZENAMENTO DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....</b> | 82 |
| 3.1     | <b>RESUMO.....</b>                                                                                                                                                                 | 82 |
| 3.2     | <b>ABSTRACT.....</b>                                                                                                                                                               | 83 |
| 3.3     | <b>INTROUÇÃO.....</b>                                                                                                                                                              | 84 |
| 3.4     | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                                                                                                                                     | 86 |
| 3.4.1   | <i>Descrição da área.....</i>                                                                                                                                                      | 86 |
| 3.4.2   | <i>Projeto Experimental.....</i>                                                                                                                                                   | 86 |
| 3.4.3   | <i>Amostragem de solo.....</i>                                                                                                                                                     | 88 |
| 3.4.4   | <i>Análises laboratoriais.....</i>                                                                                                                                                 | 88 |
| 3.4.4.1 | <i>Atributos estruturais físicos.....</i>                                                                                                                                          | 88 |
| 3.4.4.2 | <i>Retenção de água no solo.....</i>                                                                                                                                               | 89 |
| 3.4.4.3 | <i>Textura do solo e carbono orgânico.....</i>                                                                                                                                     | 89 |
| 3.4.5   | <i>Análise estatística.....</i>                                                                                                                                                    | 89 |
| 3.5     | <b>RESULTADOS.....</b>                                                                                                                                                             | 91 |
| 3.5.1   | <i>Produtividade das culturas e pools de COS afetados pelos tratamentos de fertilização.....</i>                                                                                   | 91 |
| 3.5.2   | <i>Estrutura do solo.....</i>                                                                                                                                                      | 92 |
| 3.5.3   | <i>Retenção de água.....</i>                                                                                                                                                       | 93 |

|            |                                                                                                                |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.4      | <i>Conteúdo de água vs estrutura do solo, textura e carbono orgânico.....</i>                                  | 94  |
| <b>3.6</b> | <b>DISCUSSÃO.....</b>                                                                                          | 99  |
| 3.6.1      | <i>Efeitos das fontes de fertilização nos pools de carbono orgânico do solo (COS).....</i>                     | 99  |
| 3.6.2      | <i>Efeitos das fontes de fertilização nos atributos físicos do solo.....</i>                                   | 99  |
| 3.6.3      | <i>A relação entre os pools COS e os atributos físicos influenciados pelos resíduos de abatedouro.....</i>     | 100 |
| 3.6.4      | <i>Fertilizante mineral vs Resíduo orgânico de abatedouro, as vantagens de cada fonte de fertilização.....</i> | 101 |
| <b>3.7</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>                                                                                         | 102 |
| <b>3.8</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>                                                                         | 103 |
|            | <b>CONCLUSÃO FINAL.....</b>                                                                                    | 108 |

## INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial deve atingir na metade deste século mais de 9 bilhões de pessoas, gerando enorme pressão sobre a oferta mundial de alimentos e na quantidade de resíduos para serem reciclados e reutilizados em diversos fins. Na cadeia alimentar, a carne é o produto que causa o maior impacto ambiental devido à ineficácia na transformação das partes não aproveitáveis para o consumo direto em subprodutos para os consumidores (STEINFELD et al., 2006 e WEIDEMA et al., 2008). Os resíduos oriundos de abatedouros de aves, suínos e bovinos têm causado consequências graves na sustentabilidade ambiental devido ao seu descarte no meio ambiente de forma inapropriada (GERBENS-LEENES e NONHEBEL, 2002, GOODLAND, 1997 e WHITE, 2000).

Estimativas afirmam que 32% do frango, 38% do suíno, 46% do boi e 48% da ovelha (ou cabra) são classificados como produtos não comestíveis, ou seja, resíduos. Destes resíduos, parte será destinada para alimentação animal na forma de ração e cerca de 20 a 22% é descartado no ambiente. O Brasil produz de 3 a 4 milhões de toneladas por ano de matéria animal não consumível diretamente pelo homem (BELLAYER, 2003).

O uso do resíduo orgânico oriundo da esterilização de resíduos de aves e suínos em digestor é uma alternativa viável para destino adequado desse subproduto no meio ambiente, pois além de ser importante fonte de macro e micro nutrientes também pode ser usado como complemento de fertilizantes minerais na agricultura.

Alves et al. (2009) observou que o uso do resíduo orgânico (oriundo de biodigestor) proporcionou melhores resultados na cultura do feijoeiro para as variáveis: número de folhas, número de vagens e número de grãos por planta. Resultados prévios (BRIEDIS et al., 2011 e FERREIRA et al., 2010), publicados com o mesmo resíduo e na mesma região desse experimento, mostraram que não houve distinção na produtividade e outros componentes de produção da cultura do trigo e feijão, na comparação entre adubação com resíduos orgânicos e o fertilizante industrial. Também foi constatado que mesmo entre as combinações de resíduo orgânico e fertilizante mineral industrial a eficácia do uso de resíduos orgânicos foi superior ao fertilizante mineral.

O incremento do teor de matéria orgânica no solo (MOS) provindo dos resíduos orgânicos aumenta a taxa de decomposição fazendo com que os microrganismos utilizem o carbono que necessitam para a síntese de biomassa sendo o restante perdido por respiração em forma de  $C-CO_2$  (SIX et al., 2006). Esses microrganismos liberam carbono ao solo como produto de seu metabolismo e também de suas células com a sua morte. A adoção de sistemas

de manejo conservacionista do solo aliado à rotação de culturas que adicionam elevadas quantidades de carbono oriundo de resíduos torna-se uma alternativa importante para reduzir o impacto da exploração agropecuária e evitar as emissões de gases de efeito estufa (LAL, 2007).

Um grande problema ao aplicarmos ao solo resíduos orgânicos ricos em nitrogênio (N), é que o nitrogênio na forma de nitrato, sua principal forma inorgânica em solos, é pouco retido pelos colóides. Com isso, é grande o potencial de perdas de N no perfil do solo, a profundidades fora do alcance do sistema radicular da maioria das culturas. Bem como, o risco de contaminação com esse elemento do lençol freático é evidente (CEMBRANELLI, 2006).

Na região dos Campos Gerais (aproximadamente 275.000 ha de agricultura) a produção de resíduos orgânicos oriundos de abatedouros de aves e suínos que poderiam ser empregados como fonte nutricional para o solo é estimada em 34.000 ton/ano<sup>-1</sup> (2 Mg ha<sup>-1</sup>), o que representa aproximadamente 6,2 % (17.000 ha) da área da região aplicada com resíduo orgânico de uma única empresa de processamento animal.

O uso de resíduo orgânicos proporcionaria uma série de benefícios para o solo e o meio ambiente tais como: a minimização do uso de fertilizantes minerais, o aumento da fertilidade do solo e o incremento de N e C ao sistema.

O objetivo desse trabalho foi mensurar a contribuição do resíduo orgânico industrial (ROI), oriundo do abate e processamento de aves e suínos (i) estudar a dinâmica de C e o potencial de sua mitigação na forma de C-CO<sub>2</sub> equivalente. (ii) avaliar as modificações provocadas pela aplicação do ROI na nitrificação e percolação de nitratos no solo (iii) avaliar os efeitos sobre os atributos físicos estruturais e a retenção de água; (iv) buscar correlações multivariadas entre frações lábeis de carbono orgânico com os atributos físico-hídricos avaliados

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. V.; ALVES, S. S. V.; CAVALCANTI, M. L. F.; DEMARTELAERE, A. C. F.; LOPES, W. A. R. Produção de feijão caupi em função de diferentes dosagens e concentração de biofertilizantes. **Revista Verde**, v. 3, p. 45-49, 2009.

BELLAVER, C. Inter-relações do beneficiamento dos subprodutos do abate com a produção animal, ambiente e economia no Brasil. In: **Workshoop sobre subprodutos de origem animal na alimentação**, São Paulo. Memória... Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, v. 2, p 1-7, 2003.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; RAMOS, F. S. Efeito primário e residual de resíduos orgânicos de abatedouros de aves e suínos na produtividade do trigo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa**. Mossoró – RN – Brasi, v. 2, n.. 6, p. 221 – 226, 2011.

CEMBRANELLI, M. A. R.; Lixiviação de íons inorgânicos em colunas com solos que receberam fertilizantes nitrogenados. **Dissertação** (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Pós-Graduação - IAC, v. 72. 2006.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; NASCIMENTO, C. G.; BRIEDIS, C.; RAMOS, F. S. Impacto de resíduos orgânicos de abatedouro de aves e suínos na produtividade do feijão na região dos Campos Gerais – PR – Brasil. **Revista Verde, Mossoró**, v. 4, n. 5, p. 15-21, 2010.

GERBENS-LEENES, P.W.; NONHEBEL, S.; Consumption patterns and their effects on land required for food. **Ecological Economics**, v.42, p. 185-199. 2002.

GOODLAND R.; Environmental sustainability in agriculture: diet matters, **Ecological Economics**, v. 23, p.189–200. 1997.

LAL, R.; Soil science and the carbon civilization. **Soil Science American Journal**, v.71, p. 1425-1437, 2007.

NAKAMAE, I. J. Anualpec 2007: Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, p. 340, 2007.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIES, R.K.; BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, v. 70, p. 555-569, 2006.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V., ROSALES, M., DE HAAN C. Livestock's Long Shadow. **Environmental Issues and Options**. FAO, Rome, Italy, 2006.

WEIDEMA, B.P.; WESNAES, M., HERMANSEN, J., KRISTENSEN, T., HALBERG, N.,; Environmental Improvement Potentials of Meat and Dairy Products. **Joint Research Center**, European Commission. EUR, v. 234, p. 91, 2008.

WHITE, T. Diet and the distribution of environmental impact. **Ecological Economics**, v. 34, p. 145-153, 2000.

## **CAPITULO 1 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MITIGAÇÃO DE C DEVIDO AO USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS INDUSTRIAIS NA FERTILIZAÇÃO DOS CULTIVOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

### **1.1 RESUMO**

Visando avaliar a sustentabilidade em um sistema de produção com uso de compostagem de resíduos orgânicos industriais (ROI) provindos do abate de aves e suínos, foi realizado um estudo sobre a capacidade mitigadora e a eficiência energética, em decorrência da aplicação de ROI isolado ou combinado ao fertilizante mineral industrial (FMI) em um experimento em sistema de plantio direto com rotação de culturas, em Ponta Grossa, Paraná - Brasil. Quantificou-se o coeficiente energético de cada componente envolvido no processo de produção (do custo com insumos, semeadura até colheita). As informações sobre energia utilizada em operações agrícolas foram convertidas em equivalente de C-CO<sub>2</sub>. Os resultados indicaram que o uso contínuo (seis anos) de ROI e em mistura (FMI + ROI) aumentaram o estoque de C, promoveram maior eficiência energética em relação ao uso do FMI resultando no sequestro de C no solo e na mitigação de C-CO<sub>2</sub> sem qualquer custo adicional. Além disso, aumentou a produção e o retorno líquido energético das culturas.

Palavras-chave: emissão de C-CO<sub>2</sub>; C-CO<sub>2</sub> equivalente, fertilizante mineral industrial, resíduo de abatedouro.

## **ENERGY EFFICIENCY AND MITIGATION OF C DUE TO THE USE OF INDUSTRIAL ORGANIC WASTE IN THE FERTILIZATION OF CROPS IN DIRECT PLANTIO SYSTEM**

### **1.2 ABSTRACT**

Aiming to evaluate the sustainability of a production system using industrial waste (IW) and to reduce the efficiency of some applications and standards of an ROI or combined with mineral fertilizer (MF) in a no - tillage experiment with crop crops, in Ponta Grossa, Paraná - Brazil. The energy coefficient of each of the components is quantified in the production process (from cost with inputs, planting to harvesting). Energy companies in operations were covered by the equivalent of C-CO<sub>2</sub>. The results indicate that continued use of IW and blend (MF + IW) increased the C stock, making use of a larger aliquot and the mitigation of C-CO<sub>2</sub> in no other. In addition, increased energy production and net return of crops.

**Keywords:** C-CO<sub>2</sub> emission; C-CO<sub>2</sub> equivalent, industrial mineral fertilizer, slaughterhouse waste.

### 1.3 INTRODUÇÃO

A população mundial deve atingir mais de 9 bilhões de pessoas na metade deste século e irá demandar maior quantidade de alimentos e ao mesmo tempo gerará maior quantidade de resíduos para serem reciclados e reutilizados em diversos fins (GODFRAY, et al. 2010).

Na cadeia alimentar, a carne é o produto com a maior demanda e a fonte de proteína mais consumida no mundo. É também o produto que causa o maior impacto ambiental devido a vasta extensão de área utilizada para produção animal e a ineficiência na transformação de partes não aproveitáveis para o consumo humano (STEINFELD et. al., 2006 e WEIDEMA et. al., 2008).

Estima-se que entre o ano de 2000 e 2030 o consumo mundial de carne terá um aumento de 72% e grande parte desse incremento será devido ao consumo de aves e suínos (FIALA, 2008; FAOSTAT, 2016). A produção mundial de carne de frango e suíno é cerca de 96 e 113 milhões de toneladas, respectivamente, e as Américas (Norte, Central e Sul) são responsáveis por 43,7% da produção mundial de frangos e 17,4% da produção de suínos (FAOSTAT, 2015). Os EUA respondem por 17 %, a China por 13% e o Brasil por 12% da produção mundial de carne de frango e tornando-se o terceiro maior produtor. A China responde por 60% da produção de carne suína seguida por EUA (10,5%), Rússia (5,5%), Espanha (3,9%) e Brasil (3,71%) (FAOSTAT, 2015).

Em consequência, os resíduos oriundos de abatedouros de aves, suínos e bovinos têm causado graves danos ambientais devido ao descarte de forma inadequada no meio ambiente (GERBENS-LEENES, NONHEBEL e KROL, 2010, GOODLAND, 1997 e WHITE, 2000).

O impacto que a produção de aves e suínos causam no ambiente é estimado em 1,1 e 3,8 kg de C-CO<sub>2</sub> equivalente por kg<sup>-1</sup> de carne produzida (RAMIREZ, PATEL & BLOCK, 2006). No cenário global a produção de carnes de frango e suíno no ano de 2020 irá gerar um impacto de 121 e 509 milhões de toneladas de C-CO<sub>2</sub> equivalente com perspectiva de aumento de 47% em 2030 (FIALA, 2008).

No Brasil, a estimativa do consumo energético oriundo da produção de carnes, desde a criação dos animais até o abate situa-se em 1,3 GW ano<sup>-1</sup> (IPEA, 2012), cuja emissão anual é cerca de 83 mil Mg de C-CO<sub>2</sub> equivalente. A utilização de resíduos orgânicos provenientes da indústria de processamento de carnes na produção de fertilizantes orgânicos e o seu uso na fertilização das culturas comerciais constitui-se numa estratégia para minimizar o impacto ambiental devido ao aumento do dreno de C do solo, além da mitigação de gases do efeito



estufa (GEE) comparado aos fertilizantes industriais oriundos de combustíveis fósseis (SWAMINATHAN & KESAVAN, 2012).

O uso de resíduos orgânicos industriais (ROI) complementando os resíduos das culturas que retornam ao solo aumenta a taxa de acúmulo de C em longo prazo (ROMANIW et al., 2015). Embora seja conhecido que o acúmulo de C no solo em sistemas de manejo conservacionistas possui uma relação linear com a adição de resíduos culturais (BAYER et al., 2006; SÁ et al., 2006; SÁ et al., 2013), a utilização de resíduos orgânicos industriais proporciona um caminho adicional para maximizar o retorno líquido de C ao solo.

Inúmeros trabalhos têm enfatizado a contribuição dos resíduos industriais como ferramenta para suprir ou complementar a adição de nutrientes no programa de fertilização das culturas (HORNICK, SIKORA & STERRETT, 1984; GAVRILESCU & CHISTI, 2005; WEINDORF, MUIR & LANDEROS-SANCHEZ, 2011).

Também, têm sido bem documentados os benefícios na melhoria da qualidade do solo e o aumento da produção agrônômica (MENG, DING & CAI 2005; CHEN, 2006). Entretanto, tem sido pouco explorado o potencial que esses resíduos têm em promover a compensação de C ao sistema solo-planta-atmosfera quando em substituição ao uso de fertilizante mineral industrial e a eficiência energética do sistema de produção. O ponto chave dessa discussão está relacionado ao balanço energético do sistema de produção, o potencial de mitigação de gases efeito estufa (GEE) e o retorno líquido de C ao solo em resposta do uso de ROI. Isto, porque é um produto oriundo de reciclagem industrial, cujo custo energético já foi computado durante o processo de produção animal e na fase industrial.

Assim, algumas perguntas necessitam ser respondidas: i) Qual a contribuição que os ROI podem proporcionar no balanço de C no solo? ii) Qual é o potencial dos ROI na compensação de C ao sistema solo-planta-atmosfera? iii) Qual o ganho ambiental que os ROI podem proporcionar com a substituição parcial ou total do fertilizante mineral industrial?

Nesse contexto, a hipótese desse trabalho foi concebida com base no princípio de que o uso de ROI aplicados isoladamente ou em combinação ao fertilizante mineral industrial (FMI) promove maior eficiência no balanço energético, direciona o solo a atuar como um dreno de C gerando maior compensação de C ao sistema-solo-atmosfera através da mitigação dos GEE.

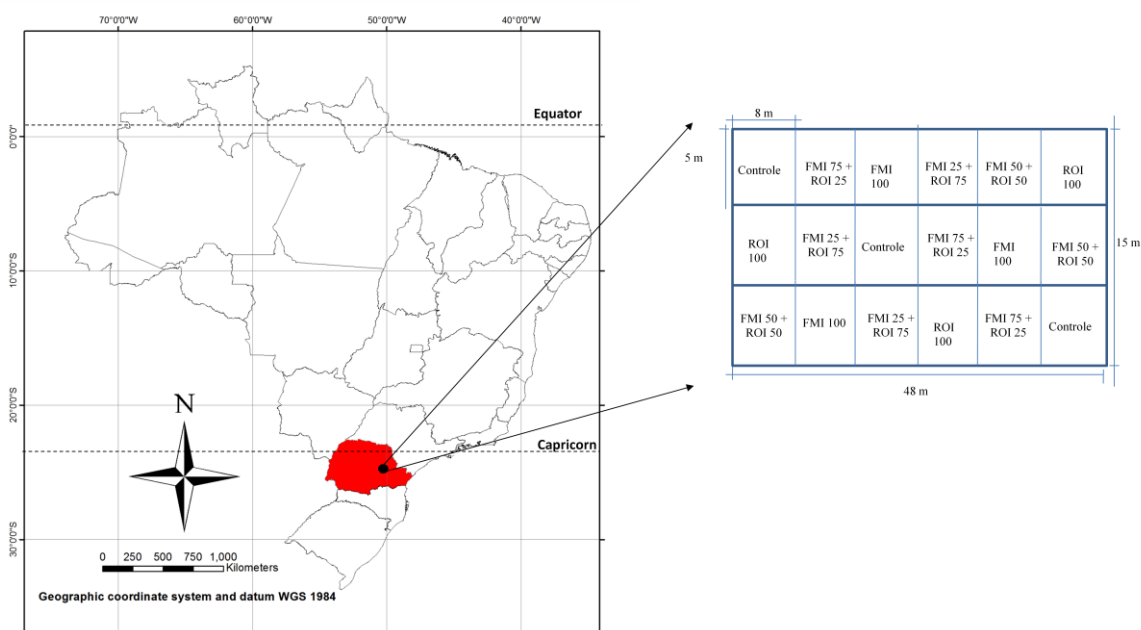
Assim, os objetivos específicos deste trabalho foram: i) Avaliar o ganho na produção agrônômica e no estoque C direcionando o solo a atuar como dreno, em resposta ao uso contínuo do ROI ou combinado ao FMI expressos em C-CO<sub>2</sub> equivalente; ii) Estimar o retorno líquido de C e o potencial de mitigação de C-CO<sub>2</sub> devido ao uso do ROI em relação

ao FMI; iii) Estimar eficiência ambiental e o potencial da compensação em C devido ao uso do ROI.

## 1.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.4.1 Localização e descrição da área experimental

O experimento foi implantado em abril de 2009 na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa, situada na região do Campos Gerais, município de Ponta Grossa (latitude 25° 05' 26'' S e longitude 25° 05' S e 50° 05' W), estado do Paraná, região sul do Brasil (Figura 1.1). O clima dessa região é classificado como cfb segundo Koeppen (TREWARTHA & HORNE, 1990), com a predominância de invernos frios e úmidos e ocorrência de geadas entre os meses de maio e julho. A precipitação média anual referente ao período de 1960 a 2004 (e.g., 44 anos) é de 1545 mm, sendo maior no verão do que no inverno e sem um período seco definido. A média da temperatura máxima e mínima na região é 24,1 e 13,3°C, respectivamente.



**Figura 1.1** Figura esquemática da localização experimental demonstrando a Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa, situada na região dos Campos Gerais, município de Ponta Grossa (latitude 25° 05' 26'' S e longitude 25° 05' S e 50° 05' W), estado do Paraná, região sul do Brasil.

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico com textura franco argilo arenosa (classificação brasileira, SANTOS, et al., 2006 e equivalente ao Inceptsoil pela classificação americana, Soil Taxonomy, 2010) e representa 27% da superfície total dessa região (SÁ, et al., 2013). O conteúdo de areia, silte e argila no horizonte A (e.g., 20 cm de profundidade) é de 665, 88 e 247 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (franco argilo arenoso). A análise das propriedades

químicas do solo na camada de 0-20 cm antes da implantação do experimento em 2009 foram: pH (CaCl<sub>2</sub>, 1M) = 4,58; capacidade de troca catiônica = 11,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, C total = 11,9 g kg<sup>-1</sup>, N total = 16,12 g kg<sup>-1</sup>, P disponível = 38,1 mg kg<sup>-1</sup>, K disponível = 0,24 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e a densidade do solo = 1,35 Mg m<sup>-3</sup>.

#### *1.4.2 Desenho experimental, descrição dos tratamentos e condução do experimento.*

O desenho experimental adotado foi em blocos completamente casualizados com seis tratamentos distribuídos em três repetições (Figura 1.1). Os tratamentos foram constituídos por: 1) Controle geral, sem aplicação de fertilizante mineral industrial (FMI) e sem resíduo orgânico industrial de abatedouro (ROI) de aves e suínos doravante designado por controle; 2) aplicação de 100% do suprimento de nutrientes exigido em cada cultura no sistema de produção através do uso de fertilizante mineral industrial e doravante designado de FMI 100; 3) aplicação de 100% da adição de nutrientes com o uso de resíduos orgânicos industriais e doravante designado por ROI 100; 4) aplicação combinada de 75% da dose do fertilizante mineral industrial + 25% da dose dos resíduos orgânicos industriais e doravante designado por FMI 75 + ROI 25; 5) aplicação combinada de 50% da dose do fertilizante mineral industrial + 50% da dose dos resíduos orgânicos industriais e doravante designado por FMI 50 + ROI 50, e 6) aplicação combinada de 25% da dose do fertilizante mineral industrial + 75% da dose dos resíduos orgânicos industriais e doravante designado por FMI 25 + ROI 75.

As quantidades de FMI aplicadas nas culturas do feijão, trigo, soja, aveia, milho e trigo estão descritas na Tabela 1. A quantidade de N para complementar as necessidades nutricionais das culturas de trigo, milho e feijão foi aplicada à lanço na superfície do solo sobre os resíduos culturais no estágio de desenvolvimento referente a segunda e quartas folhas totalmente expandidas das culturas (equivalente ao estágio fisiológico de desenvolvimento V2 e V4). A quantidade de N aplicado obedeceu às porcentagens definidas nos tratamentos 75%, 50% e 25% da quantidade total no FMI. No tratamento ROI 100 a quantidade de nutrientes aplicada foi de 94, 21 e 19 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente e equivalente a aplicação de 2 Mg ha<sup>-1</sup> do resíduo orgânico industrial.

A sequência de culturas no período de 2009 a 2016 constituiu-se da alternância das culturas de inverno com as no verão (Tabela 1.1). A quantidade de nutrientes via FMI e ROI aplicadas nas culturas referente ao tratamento FMI 100 e ROI 100 encontram-se descritas na tabela 1.1. As dimensões de cada unidade experimental eram de 8 m de comprimento por 5 m de largura totalizando 40 m<sup>2</sup>.

A dose aplicada de ROI foi de 2 Mg ha<sup>-1</sup>, essa dose foi recomendada com base na quantidade de N presente no resíduo, buscando evitar perdas e contaminações do solo e lençol freático.

Tabela 1.1. Taxas de NPK aplicadas conforme tratamento com 100% de fertilizante mineral industrial (FMI) e com resíduo orgânico industrial (ROI).

| Ano   | Estação | Sequencia culturas | Quantidade de nutrientes aplicados |       |       |                                 |       |       |
|-------|---------|--------------------|------------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
|       |         |                    | FMI 100%                           |       |       | ROI 100%                        |       |       |
|       |         |                    | N                                  | P     | K     | N                               | P     | K     |
|       |         |                    | ----- Kg ha <sup>-1</sup> -----    |       |       | ----- Kg ha <sup>-1</sup> ----- |       |       |
| 2009  | Verão   | Feijão             | 60,0                               | 25,98 | 24,91 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| 2010  | Inverno | Trigo              | 74,5                               | 21,65 | 41,51 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
|       | Verão   | Soja               | 6,00                               | 25,98 | 49,81 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| 2011  | Inverno | Aveia              | 21,0                               | 22,08 | 14,94 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
|       | Verão   | Milho              | 138,0                              | 36,81 | 20,76 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| 2012  | Inverno | Trigo              | 72,0                               | 38,97 | 50,64 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
|       | Verão   | Soja               | 6,00                               | 25,98 | 16,60 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| 2013  | Inverno | Aveia              | 20,0                               | 17,32 | 33,21 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
|       | Verão   | Milho              | 60,0                               | 34,64 | 38,19 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| 2014  | Inverno | Trigo              | 72,0                               | 44,17 | 16,60 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
|       | Verão   | Feijão             | 85,0                               | 26,41 | 33,21 | 94,4                            | 21,0  | 19,0  |
| Total |         |                    | 662,5                              | 320,0 | 369,5 | 1038,4                          | 231,0 | 209,0 |

A população de plantas para cada cultura foi à recomendada para cada cultivar ou híbrido. O controle de plantas daninhas, pragas, doenças e tratos culturais foram realizados conforme as recomendações agronômicas para cada cultura e sendo iguais em todos os tratamentos para evitar a influência destes fatores sobre a produtividade das mesmas. A semeadura direta foi realizada conforme a recomendação para cada cultura e a colheita foi realizada após cada cultura atingir ponto de maturação fisiológica.

A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se 5 m das três linhas centrais para culturas de verão (e.g., milho, soja e feijão) e seis linhas para culturas de inverno (e.g., trigo). Os grãos colhidos passaram por processo de separação de impurezas e secagem para correção de umidade. O peso dos grãos foi corrigido para 14% de umidade para feijão e 13% para demais culturas. Os valores referentes a produção de grãos de cada parcela foram convertidos

em  $\text{kg ha}^{-1}$  e, posteriormente foram transformados em  $\text{Kg C-CO}_2 \text{ Eq ha}^{-1}$ . Na aveia preta foi determinada a produção de massa seca coletando-se dois pontos com  $0,75 \text{ m}^2$  em cada unidade experimental.

#### *1.4.3 Caracterização do resíduo orgânico industrial oriundo do abatedouro de aves e suínos*

O ROI é composto de resíduos oriundos do processo industrial de abate de aves e suínos (e.g. aves mortas, sangue, pêlos, penas, cartilagem, vísceras, pele, cascos, unhas, bico, etc). Inicialmente os resíduos passaram por um reator tubular (caldeira) com elevada pressão (e.g. 2 atm) e temperatura cerca a  $120^\circ\text{C}$ , onde ocorre o processo de esterilização dos resíduos (isentos de microorganismos) e extração do óleo. Após o resfriamento, o ROI foi destinado ao local para o processamento da compostagem que seguiu os princípios citados por Teixeira (2002).

A composição média do ROI constituiu-se de: 321, 47, 10, e  $9,5 \text{ g kg}^{-1}$  de C total, N total, P e K, respectivamente e o pH em água foi de 6,7. Foi preparada e armazenada a quantidade suficiente de ROI para atender a demanda do experimento durante 10 anos visando eliminar o impacto da variação na composição entre a produção de um lote e outro durante o processo industrial nos resultados.

#### *1.4.4 Critérios para calcular os parâmetros energéticos*

A análise de componentes energéticos no agro-ecossistema foi baseada no método de sistemas que contabilizam os processos energéticos despendidos em cada operação (DALGAARD, HALBERG; PORTER 2001; HEICHEL, 1976; FIALA; BACENETTI, 2012).

O trabalho humano não foi considerado no cálculo dos coeficientes devido à complexidade e variação em função das operações (FLUCK, 1992). A taxa de radiação fotossintética das culturas também não foi considerada neste estudo devido a grande variação diurna e durante as estações do ano (DANNOWSKI et al., 1981).

A contabilização da entrada da energia não renovável – combustível fóssil (diesel) e energia elétrica para as operações na fazenda se dividiram em dois componentes: 1) a energia direta – representada pelo uso de combustível fóssil consumido na fazenda experimental na forma de óleo diesel para o suprimento de tratores em todas as operações agrícolas no experimento e a energia elétrica utilizada em processos na propriedade; 2) a energia fóssil consumida fora da fazenda para fabricação dos meios de produção (e.g., fertilizante mineral industrial, resíduos orgânicos industriais, herbicidas, fungicidas, inseticidas, máquinas, equipamentos e sementes).

#### 1.4.5 Cálculo da energia equivalente dos componentes agronômicos

Os coeficientes utilizados para o cálculo da energia equivalente para agroquímicos, sementes e operação de máquinas utilizados na produção de grãos das culturas foram baseados nos índices apresentados em informação suplementar (Tabela 1.1, 1.2 e 1.3).

Exemplos:

Eq. 1

Produção de grãos de feijão (Controle) = 2758 kg ha<sup>-1</sup> (média de 03 repetições)\* 16,87 MJ kg<sup>-1</sup> (coeficiente da Tabela 1.2, informação suplementar)/1000 = 46,53 GJ ha<sup>-1</sup>

Tabela 1.2 Taxa de entrada de ingredientes ativos (ia) utilizados na proteção de culturas conforme as safras.

| Tipo de entrada | Feijão                            | Trigo | Soja | Aveia | Milho | Trigo | Soja | Aveia | Milho | Trigo | Feijão |
|-----------------|-----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|
|                 | -----kg ia ha <sup>-1</sup> ----- |       |      |       |       |       |      |       |       |       |        |
| Inseticidas     | 0,37                              | 0,14  | 0,03 | 0,00  | 0,05  | 0,18  | 0,05 | 0,00  | 0,05  | 0,23  | 0,40   |
| Herbicidas      | 1,74                              | 0,81  | 2,70 | 1,64  | 4,00  | 2,26  | 2,25 | 1,55  | 4,00  | 2,28  | 1,80   |
| Fungicidas      | 0,44                              | 0,74  | 0,17 | 0,00  | 0,00  | 0,74  | 0,19 | 0,00  | 0,00  | 1,00  | 0,44   |

Tabela 1.3. Entradas de carbono da biomassa via matéria seca (acima e abaixo do solo) e referente a aplicação de resíduos orgânicos industrial de acordo com cada tratamento entre 2009 e 2014.

| Ano                               | Estação | Sequencia Culturas | Tipo de entrada de C | Tratamentos |         |         |                 |                 |                 |
|-----------------------------------|---------|--------------------|----------------------|-------------|---------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                   |         |                    |                      | Controle    | FMI 100 | ROI 100 | ROI 25 + FMI 75 | ROI 50 + FMI 50 | ROI 75 + FMI 25 |
| ----- Mg C ha <sup>-1</sup> ----- |         |                    |                      |             |         |         |                 |                 |                 |
| 2009                              | Verão   | Feijão             | Res. Culturais       | 2,62        | 2,71    | 3,09    | 3,05            | 3,22            | 3,00            |
|                                   |         | Feijão             | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
|                                   | Inverno | Trigo              | Res. Culturais       | 0,73        | 1,30    | 1,22    | 1,49            | 1,16            | 1,32            |
|                                   |         | Trigo              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| 2010                              | Verão   | Soja               | Res. Culturais       | 2,30        | 2,74    | 2,55    | 2,60            | 2,72            | 2,49            |
|                                   |         | Soja               | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
|                                   | Inverno | Aveia              | Res. Culturais       | 2,11        | 5,52    | 4,77    | 4,30            | 5,45            | 3,93            |
|                                   |         | Aveia              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| 2011                              | Verão   | Milho              | Res. Culturais       | 9,46        | 16,5    | 13,4    | 15,6            | 13,7            | 12,9            |
|                                   |         | Milho              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
|                                   | Inverno | Trigo              | Res. Culturais       | 3,70        | 3,93    | 3,97    | 3,81            | 4,45            | 4,20            |
|                                   |         | Trigo              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| 2012                              | Verão   | Soja               | Res. Culturais       | 2,63        | 2,99    | 3,21    | 3,19            | 3,07            | 3,26            |
|                                   |         | Soja               | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
|                                   | Inverno | Aveia              | Res. Culturais       | 1,66        | 2,7     | 3,05    | 2,53            | 2,54            | 2,61            |
|                                   |         | Aveia              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| 2013                              | Verão   | Milho              | Res. Culturais       | 10,7        | 15,1    | 14,4    | 12,7            | 13,2            | 12,5            |
|                                   |         | Milho              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| 2014                              | Inverno | Trigo              | Res. Culturais       | 1,29        | 2,32    | 1,75    | 2,64            | 2,33            | 1,41            |
|                                   |         | Trigo              | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
|                                   | Verão   | Feijão             | Res. Culturais       | 1,83        | 2,59    | 1,99    | 2,17            | 2,54            | 2,50            |
|                                   |         | Feijão             | ROI                  | 0,00        | 0,00    | 0,76    | 0,09            | 0,19            | 0,29            |
| Total                             |         |                    |                      | 39,06       | 58,36   | 61,78   | 55,08           | 56,49           | 53,37           |

\*Resultados calculados conforme dados propostos por Sá et al., 2009.



O cálculo do balanço energético para a produção de fertilizantes minerais industriais e resíduos orgânicos considerou a entrada de energia associada com a fabricação e a produção em termos de energia principal (Tabela 1.3).

O custo energético para produzir 01 kg de ROI foi equivalente a  $0,28 \text{ MJ kg}^{-1}$  e utilizado para os cálculos de ROI conforme resultados reportados por Fadari, Bamiro e Oni (2010).

A energia de saída (e.g, outputs) foi computada com base no peso seco e rendimento final de grãos produzidos e expressos em unidade de energia ( $\text{MJ kg}^{-1}$  de produto e transformada para  $\text{GJ ha}^{-1}$ ). Em cada adição envolvida no processo de produção um valor de energia foi designada (Tabela 1.3). O cálculo da energia de saída para a cultura do feijão teve como base o mesmo preconizado para a cultura da soja.

#### *1.4.6 Conversão em carbono equivalente (CE)*

O custo energético de práticas agrícolas foi calculado com base em dados reportados por LAL (2004) e transformados em GJ (Giga Joule). O coeficiente de emissão carbono, foi realizado através do fator de conversão citado por Lal, (2004) conforme Boustead & Hancock, 1979 e Fluck, (1992) demonstrado a seguir:

$$1 \text{ Gigajoule (GJ)} = 20,15 \text{ C-Eq.}$$

Para realizarmos a conversão para C-CO<sub>2</sub> utilizamos o valor de 3,67 devido a conversão do C no CO<sub>2</sub> baseado no balanço de massa:

$$\text{C} = 12 \text{ e } \text{O}_2 = 16 \times 2 = 32, \text{ então } \text{CO}_2 = 44$$

$$\text{C-CO}_2 \text{ Eq} = 44/12 = 3,67$$

Todos os valores convertidos em C-Eq foram multiplicados pela constante 3,67 para padronização de todos os dados em C-CO<sub>2</sub> Eq. Os dados tomados como base estão presentes nas tabelas 1.4 e 1.5, estes foram transformados em GJ e depois multiplicados por 20,15 e 3,67 para obtenção do C-CO<sub>2</sub> Eq.

Tabela 1.4. Valores referenciais utilizados nos cálculos de custo energético em carbono equivalente de acordo com operações, custos e produções.

| Itens                              | Unidade                            | Energia equivalente | Referências                                             |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|
| Diesel combustível <sup>a</sup>    | MJ kg <sup>-1</sup>                | 46,15               | Lal (2004)                                              |
| Fertilizantes minerais e orgânicos |                                    |                     |                                                         |
| Nitrogênio <sup>a</sup>            | MJ kg <sup>-1</sup>                | 64,52               | Lal (2004)                                              |
| Fósforo <sup>a</sup>               | MJ kg <sup>-1</sup>                | 9,92                | Lal (2004)                                              |
| Potássio <sup>a</sup>              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 7,44                | Lal (2004)                                              |
| Resíduo orgânico de abatedouro     | MJ kg <sup>-1</sup>                | 0,28                | Fadari, Bamiro e Oni (2010)                             |
| Agroquímicos                       |                                    |                     |                                                         |
| Herbicidas                         | MJ kg <sup>-1</sup>                | 288,00              | Green (1987)                                            |
| Fungicidas                         | MJ kg <sup>-1</sup>                | 196,00              | Green (1987)                                            |
| Inseticidas                        | MJ kg <sup>-1</sup>                | 237,00              | Green (1987)                                            |
| Semente                            |                                    |                     |                                                         |
| Feijão <sup>b</sup>                | MJ kg <sup>-1</sup>                | 33,49               | --                                                      |
| Trigo                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 104,65              | Pimentel e Pimentel (1979)                              |
| Soja                               | MJ kg <sup>-1</sup>                | 33,49               | Pimentel e Pimentel (1979)                              |
| Aveia                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 17,20               | Heitchel (1980)                                         |
| Milho                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 104,65              | Pimentel e Pimentel (1979)                              |
| Máquinas e Transporte              |                                    |                     |                                                         |
| Máquinas <sup>d</sup>              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 108,00              | Kalk e hulsbergen (1996)                                |
| Transporte                         | MJ t <sup>1</sup> km <sup>-1</sup> | 6,30                | Müller (1989)                                           |
| Rendimento das culturas            |                                    |                     |                                                         |
| Feijão <sup>b</sup>                | MJ kg <sup>-1</sup>                | 16,87               | Adaptação de Pimentel e Pimentel (1979).                |
| Trigo                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 13,86               | Jarach de 1985                                          |
| Soja                               | MJ kg <sup>-1</sup>                | 16,87               | Borin et al. de 1997                                    |
| Aveia                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 10,40               | Adaptação de Pimentel e Pimentel (1979).                |
| Milho                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 14,70               | Jarach de 1985                                          |
| Aporte de Resíduos                 |                                    |                     |                                                         |
| Feijão <sup>b</sup>                | MJ kg <sup>-1</sup>                | 16,20               | Jenkins et al, 1998; Sarkar , 2007; Saxena et al., 2009 |
| Trigo                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 18,20               | Jenkins et al, 1998; Sarkar , 2007; Saxena et al., 2009 |
| Soja                               | MJ kg <sup>-1</sup>                | 17,70               | Jenkins et al, 1998; Sarkar , 2007; Saxena et al., 2009 |
| Aveia                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 18,20               | Jenkins et al, 1998; Sarkar , 2007; Saxena et al., 2009 |
| Milho                              | MJ kg <sup>-1</sup>                | 17,90               | Jenkins et al, 1998; Sarkar , 2007; Saxena et al., 2009 |
| Resíduos orgânicos industriais     | GJ Mg <sup>-1</sup>                | 19,00               | Faaij et al., 1997                                      |

a- Adaptado de Lal (2004); b- Adaptado de Pimentel e Pimentel (1979).

Tabela 1.5. Equivalentes de energia para a produção de meios em C-CO<sub>2</sub> Eq.

| Energia equivalente                                |        | Fonte                       |
|----------------------------------------------------|--------|-----------------------------|
| Fertilizantes minerais (kg Eq. C-CO <sub>2</sub> ) |        |                             |
| N                                                  | 1,6    | Lal (2004)                  |
| P                                                  | 0,3    | Lal (2004)                  |
| K                                                  | 0,18   | Lal (2004)                  |
| Adubo Orgânico (kg Eq. C-CO <sub>2</sub> )*        |        |                             |
| Resíduo Orgânico<br>Abatedouro <sup>+</sup>        | 0,0056 | Fadari, Bamiro e Oni (2010) |
| Culturas (kg Eq. C-CO <sub>2</sub> )*              |        |                             |
| Aveia <sup>+</sup>                                 | 47,26  | Pimentel (1980)             |
| Feijão <sup>+</sup>                                | 166,24 | -                           |
| Milho <sup>+</sup>                                 | 271,8  | Sartori et al., (2005)      |
| Soja <sup>+</sup>                                  | 77,1   | Sartori et al., (2005)      |
| Trigo <sup>+</sup>                                 | 173,29 | Sartori et al., (2005)      |

\* Dados obtidos em MJ kg<sup>-1</sup> foram transformados segundo Lal (2004) para CE kg<sup>-1</sup>; <sup>+</sup> Dados sem acréscimo do CE kg<sup>-1</sup> dos fertilizantes ou adubos utilizados.

#### 1.4.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para determinar o efeito dos tratamentos nas alterações sobre rendimento acumulado das culturas, no estoque de C-CO<sub>2</sub> Eq do solo, nos índices de eficiência energética, eficiência ambiental de C e na compensação de C que representa o retorno líquido.

Uma vez constatado significância foi utilizado o teste de LSD para determinar o nível de significância entre os tratamentos pelo programa R (R CORE TEAM, 2016). A análise de regressão foi usada para avaliar a relação entre as variáveis: adição acumulada de C e estoque acumulado de C; eficiência energética e retorno líquido de C; compensação de C e eficiência energética; adição acumulada de C e ganho líquido de C-CO<sub>2</sub>; adição acumulada de C e taxa líquida de sequestro de C.

## 1.5 RESULTADOS

### 1.5.1 Produção agrônômica e balanço energético do sistema de produção

A produção acumulada (soma dos rendimentos de todas as culturas durante o período de 2009 e 2015 expressas em  $\text{Mg C-CO}_2 \text{ Eq ha}^{-1}$ ) no tratamento controle foi significativamente inferior a todos os tratamentos (Figura 1.2).

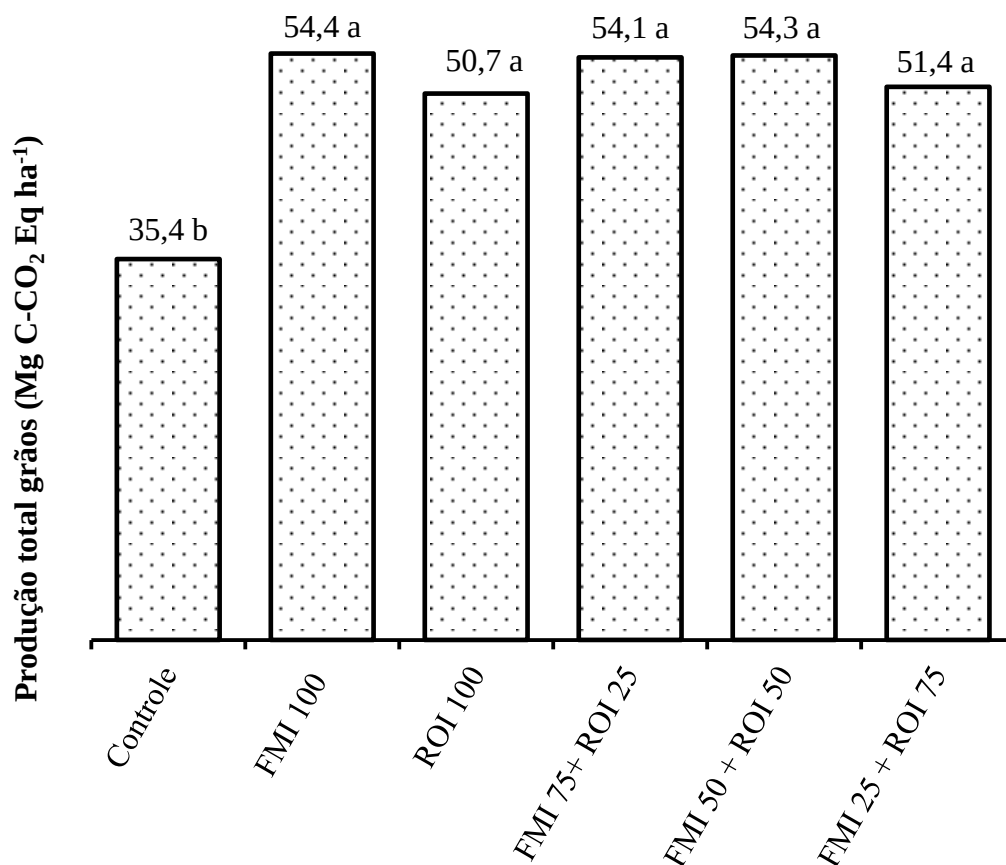


Figura 1.2 Produção acumulada de 11 safras em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes; FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

Os ganhos na produção de grãos devido aos tratamentos com ROI e FMI comparados ao controle variaram de 45 a 54% (Figura 1.2), entretanto, não ocorreram diferenças significativas entre si, indicando que o uso do ROI na fertilização de culturas promove ganho semelhante ao FMI permitindo a sua plena substituição (Figura 1.2).

O uso contínuo de ROI 100 promoveu o melhor balanço energético na produção acumulada de grãos comparado aos demais tratamentos (Figura 1.3). Além disso, os

tratamentos que continham ROI obtiveram ganhos semelhantes e foram superiores ao controle e ao tratamento FMI 100 (Figura 1.3).

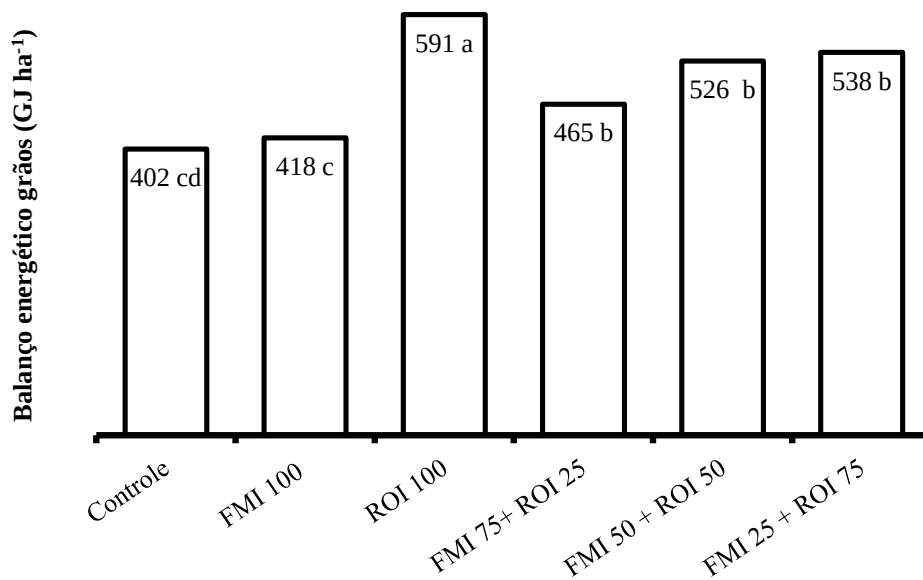


Figura 1.3 Balanço energético das culturas (produção descontada dos custos) em  $\text{GJ ha}^{-1}$  em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes; FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma não letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

O ganho energético líquido na produção acumulada de grãos devido ao uso do resíduo orgânico (ROI 100) (calculado a partir da diferença entre os tratamentos e o controle) comparado ao FMI 100 foi 12 vezes superior (Figura 1.4).

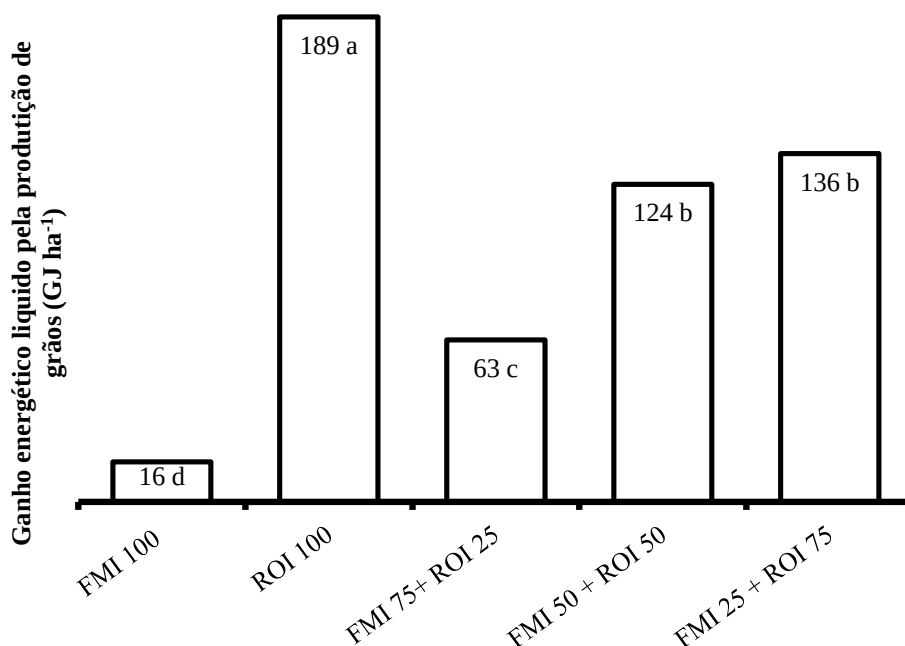


Figura 1.4 Ganho energético líquido promovido pela produção de grãos via adubação em função de diferentes fertilizações: FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma não letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

Ao analisarmos os ganhos produtivos em relação ao custo de produção notou-se que o uso do ROI 100 promoveu melhor balanço energético comparado aos demais tratamentos, indicando ganhos na renda (Figura 1.4). Os tratamentos que continham menores quantidades de ROI, em relação ao ROI 100, obtiveram ganhos semelhantes e foram superiores ao controle (representado pelo eixo “x”) e ao tratamento FMI 100 (Figura 1.4).

Adicionalmente, constatou-se após os 6 anos do experimento maior eficiência energética (produção total de biomassa = grãos + resíduos culturais) dos tratamentos com o uso de ROI, atingindo o seu máximo no ROI 100 (Figura 1.5). O eficiência em C-CO<sub>2</sub> Eq devido ao uso contínuo do ROI 100 foi 92% superior ao FMI 100 e, indicando menor impacto ambiental e maior sustentabilidade do sistema de produção.

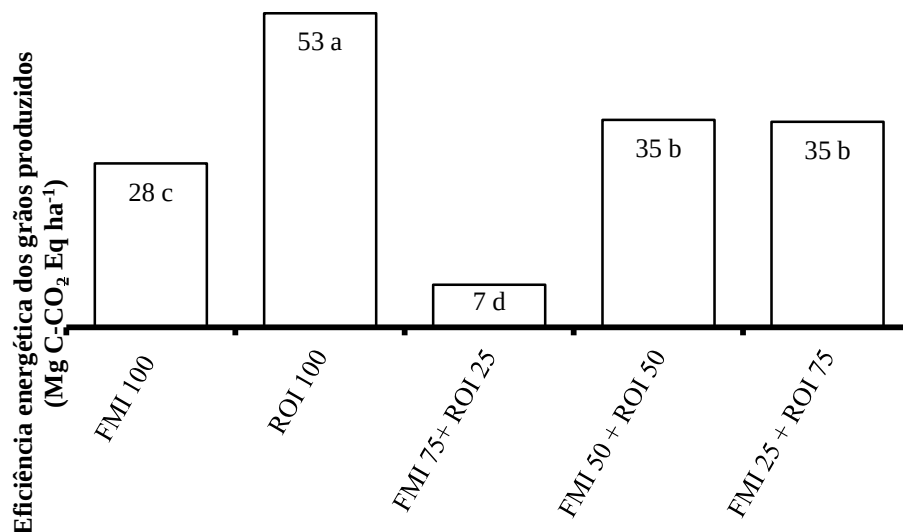


Figura 1.5 Eficiência energética segundo os ganhos produtivos, da biomassa de C das culturas e do acréscimo de C promovido pelo ROI no solo, descontados do controle, em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes (representado pelo eixo “x”); FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma não letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

#### 1.5.2 Aumento no estoque de C e interações com o balanço energético

O uso contínuo de ROI e FMI seja de forma isolada ou combinada aumentou significativamente o estoque de C em todos os tratamentos (Figura 1.6) comparados ao controle maximizando os ganhos de C ao sistema através da maior produção de resíduos culturais (Tabela 1.3).

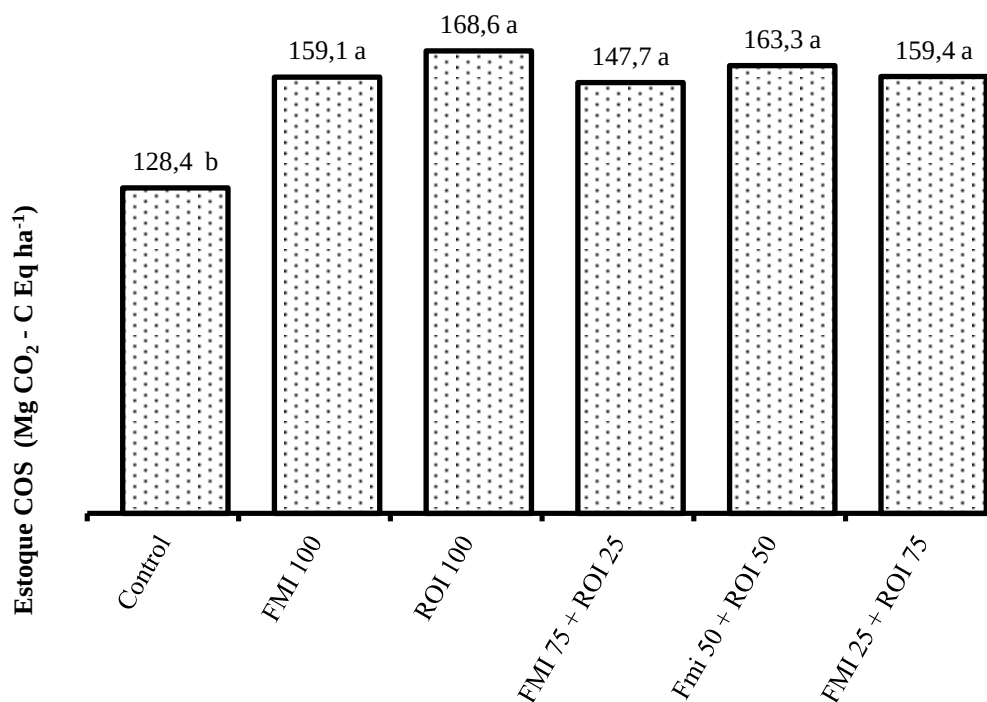


Figura 1.6 Estoque de C do solo transformado em C-CO<sub>2</sub> Eq após 11 safras agrícolas em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes; FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

O uso contínuo do ROI na dose máxima (ROI 100) promoveu um ganho de 25,2 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> em relação ao estoque inicial (e.g., estoque de C antes da implantação do experimento) indicando maior capacidade de conversão em C do solo do que os demais tratamentos (Figura 1.7). Em contraste, o tratamento controle teve um decréscimo de 15,0 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> em relação ao estoque inicial de C cuja a perda anual foi de 2,94 Mg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> (Figura 1.7). As taxas anuais de sequestro de C-CO<sub>2</sub> Eq no solo dos tratamentos com ROI e FMI foram 1,43 para o FMI 100, 2,24 para o ROI 100; 1,25 para FMI 75+ROI 25; 1,80 para FMI 50 + ROI 50 e 1,45 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.



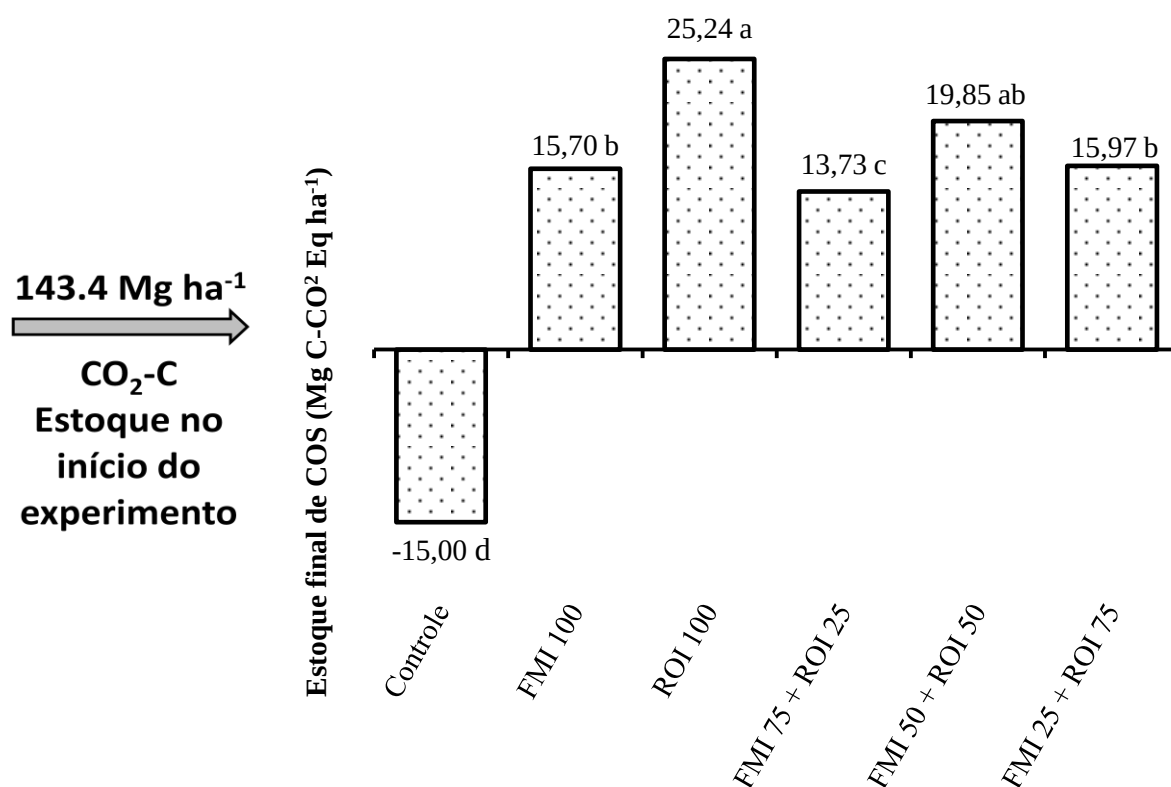


Figura 1.7 Balanço de C após 11 safras agrícolas em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes; FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma não letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

### 1.5.3 Potencial de mitigação de CO<sub>2</sub> em resposta ao uso de resíduos orgânicos industriais

O uso contínuo de ROI 100 proporcionou maior compensação de C-CO<sub>2</sub> Eq ao sistema de produção comparado aos demais tratamentos (Figura 1.8) sendo 33% superior ao FMI 100. Conforme aumenta a participação do ROI nas combinações com o FMI ocorreu maior compensação de C-CO<sub>2</sub> com ganhos de 17% para o tratamento FMI 50 + ROI 50 e 3,3% para o FMI 75 + ROI 25 (Figura 1.8).

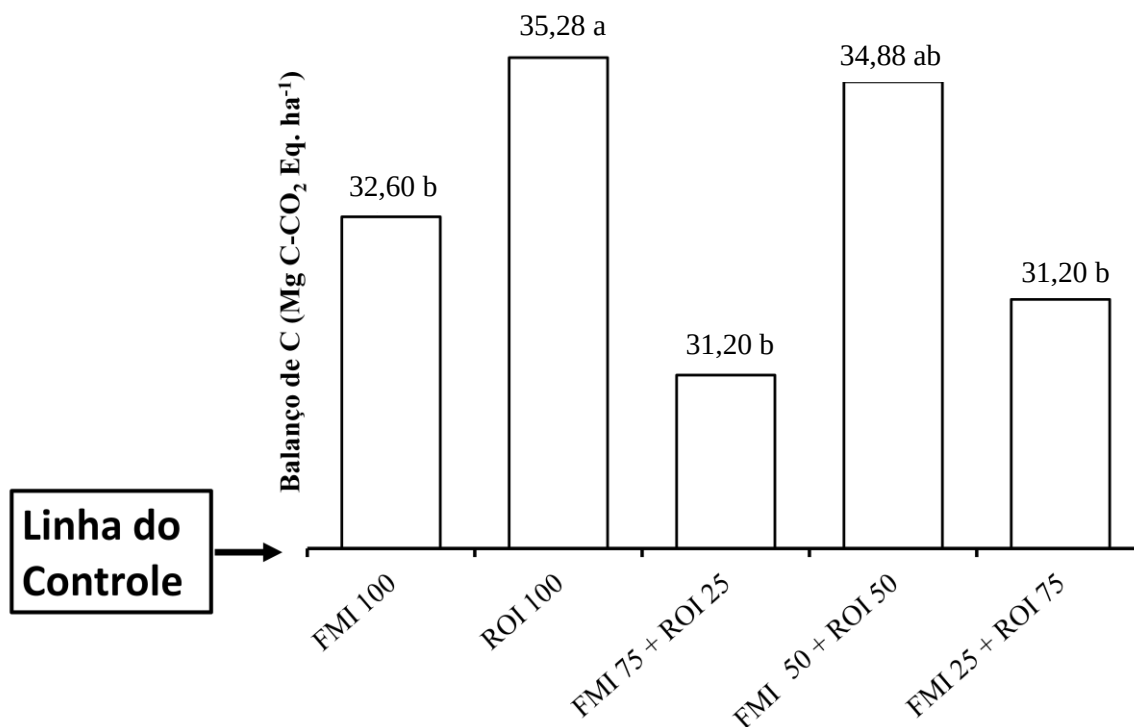


Figura 1.8 Compensação de Carbono em relação ao controle, após 11 safras agrícolas em função de diferentes fertilizações: Controle – sem fertilizantes; FMI 100: 100% fertilizante mineral industrial; ROI 100: 100% resíduo orgânico industrial de abatedouro; e suas combinações. Médias seguidas de mesma não letra não diferem entre si segundo teste de LSD 5%.

Isso indica que a substituição do parcial ou total do fertilizante mineral pelo ROI constitui uma estratégia eficaz para aumentar a produção de grãos e gerar maior compensação de C-CO<sub>2</sub> Eq (Figura 1.8).

## 1.6 DISCUSSÃO

### 1.6.1 Eficiência energética do sistema de produção devido ao uso de resíduos orgânicos industriais

As entradas e saídas de energia no sistema de produção agrícola são parâmetros importantes para a avaliação da eficiência no uso de terras agricultáveis. Quanto maior o retorno energético líquido maior será a produção de energia renovável no sistema (KUEMMEL et al., 1998). Nesse estudo constatou-se que o uso contínuo do ROI 100 maximizou a conversão de energia líquida renovável no sistema (Figura 1.4 e 1.5).

O balanço energético como uma medida dos efeitos ambientais associado ao sistema produção de culturas nos indicou o potencial de renovação de energia que um sistema pode sustentar. Nesse estudo, o ROI 100 proporcionou um ganho de  $189 \text{ GJ ha}^{-1}$  em relação ao tratamento controle e  $71 \text{ GJ ha}^{-1}$  (+ 47.1%) em relação ao FMI 100. Ainda assim, foi 12 vezes mais eficiente no ganho líquido de energia do que o FMI 100 (Figura 1.4).

O aumento da eficiência está relacionado ao efeito sinérgico da composição do ROI que é rico em compostos lábeis de C, enquanto os resíduos culturais que além destes possuem compostos aromáticos com maior permanência no solo (SOUZA, PREZOTTI, GUARÇONI, 2012). Além disso, o ROI estimula a maior atividade da biomassa microbiana para gerar um fluxo contínuo de C e N no solo (SÁ et al., 2013).

Esse fluxo de C e N associado ao sistema de agricultura conservacionista direciona maior quantidade de C para proteção nos agregados do que para a atmosfera (de Oliveira Ferreira et al., 2018). Dessa forma, a combinação do ROI mais os resíduos culturais manejados no sistema de agricultura conservacionista permitiu maior manutenção e acúmulo de C no solo.

Recentemente, de Oliveira Ferreira et al., (2018) afirmaram que o caminho do C em sistemas de manejo do solo com aporte elevado e frequente de C via resíduo cultural estimula maior formação de macroagregados e, esse é o principal caminho para o armazenamento de C no solo.

Outro benefício é que o acúmulo gradual e constante de C no solo gera maior retenção de água confirmando que quando se mantém esse fluxo contínuo de C os atributos biológicos do solo em especial a atividade enzimática (INAGAKI et al., 2017, HOK et al., 2018) e a biomassa microbiana (SÁ et al., 2009) direcionam as transformações de C para a sua manutenção no solo. Esse é um ponto chave nesse estudo, pois demonstra que um sistema que

tende para a sustentabilidade é aquele que reúne maior eficiência no uso da energia aplicada e menor uso e impacto aos recursos naturais.

Nesse caso, o uso contínuo de ROI 100 comportou-se como uma alternativa de maior estabilidade e mais segura ao meio ambiente. Corroborando com as observações anteriores, Hülsbergen et. al (2001) e Alluvione et. al (2011), afirmaram que as entradas e saídas energia em um sistema de produção (grãos e hortaliças) dependia fortemente da quantidade de fertilizante aplicado. Também afirmaram que o uso de fertilizantes minerais gerou o maior custo energético devido a extração de matéria prima não renovável e ao processo de produção.

O tratamento ROI 100 representou o maior balanço de energia (figura 1.3), enquanto o tratamento FMI 100 apresentou o menor ganho líquido de energia (figura 1.4). O elevado custo energético do FMI 100 (tabela 1.3) não será compensado pela maior produção de grãos do sistema de produção e em consequência aumentará o déficit com o passar do tempo. Os fertilizantes representam a maior porcentagem do aporte de energia externa no sistema de produção (Tabela 1.3) e o componente com elevado impacto ambiental.

#### *1.6.2 Compensação de C e benefícios ecossistêmicos com o uso de resíduos orgânicos industriais*

O uso contínuo de ROI estimulou o solo a atuar como um dreno de C-CO<sub>2</sub> promovendo a maior capacidade do solo em acumular C (Figuras 1.7 e 1.8). Podemos afirmar que quanto maior a presença do ROI na mistura com FMI, maior foi a capacidade de retorno de C-CO<sub>2</sub> ao solo conforme a ordem a seguir [calculado a partir do aporte de C via biomassa (resíduos culturais + ROI) listado na tabela 2 e os valores de Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> reportados na figura 1.7]: ROI 100 > FMI 50 + ROI 50 > FMI 25 + ROI 75 > FMI 100 > FMI 75 + ROI 25 e cuja conversão de C-CO<sub>2</sub> do resíduo cultural ao solo foi 40,8; 35,0; 30,0; 26,9 e 7,8%, respectivamente.

Durante o período experimental foi estimado que o uso contínuo do ROI 100 retornam cerca de 2,29 C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> para o solo sendo 1,0 C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> via sistema radicular. Essa fixação de C-CO<sub>2</sub> Eq no solo, demonstra a grande contribuição do ROI no sistema de produção e consequentemente os benefícios que podem promover à fertilidade do solo. Além disso, esse estudo enfatiza o papel do ROI e dos resíduos culturais produzidos com o seu uso nos fluxos de C-CO<sub>2</sub> e na gestão da eficiência energética do sistema.

Após 11 cultivos a biomassa-C adicionada dos resíduos culturais (parte aérea e raiz) somada ao C adicionado pelo tratamento ROI 100 foi de 53 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq e a conversão em C do solo foi mais da metade desse valor, o que nos leva a considerar elevada eficiência na

conversão e que parte desses resíduos ainda se encontram como C remanescente suprindo a demanda da microbiota e em processo de decomposição (Tabela 1.3 e figura 1.7).

### *1.6.3 Impacto do uso de resíduos orgânicos industriais em larga escala*

Com base na diferença entre o estoque de C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> final e o inicial em C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> perdido pelo tratamento controle durante o período do experimento foi estimado que a entrada energética em Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> necessária para manter o estoque de C-CO<sub>2</sub> em equilíbrio na área experimental seria de 0,90 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

A adição energética em Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> anual nos tratamentos descontado do controle foi de 0,11; 3,10; 0,17; 1,62 e 1,24 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente para os tratamentos FMI 100, ROI 100, FMI 75 + ROI 25, FMI 50 + ROI 50 e FMI 25 + ROI 75. A adição de 2 Mg ha<sup>-1</sup> ROI pode sequestrar 4,45 Mg C-CO<sub>2</sub> Eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial de carne suína e o terceiro de aves, (NAKAMAE, 2007) e são produzidos anualmente cerca de 2,6 e 0,8 bilhões de toneladas de resíduos do abate de aves e suínos por ano (IPEA, 2012), dos quais 5,45 milhões de toneladas são considerados resíduos não aproveitáveis. O uso de ROI na fertilização dos cultivos poderia gerar um sequestro de C-CO<sub>2</sub> Eq de 6,1 milhões de toneladas e compensando em 22% as perdas de C-CO<sub>2</sub> Eq devido ao uso de FMI.

No Brasil, 76% dos resíduos sólidos são descartados em lixões dispostos a céu aberto, enquanto que 13% vão para aterros controlados onde os resíduos recebem coberturas de materiais inertes, 10% são destinados para aterros sanitários onde os esses resíduos são enterrados e controlados e, apenas 1% são reciclados para a produção de subprodutos (MAZZER & CAVALCANTI, 2004) a serem reutilizados na cadeia alimentar. Portanto, a transformação desses resíduos não aproveitados em fertilizante orgânico alteraria o panorama da produção de grãos no Brasil e poderia ainda triplicar a compensação de C-CO<sub>2</sub> gerando maior suporte para o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos.

## 1.7 CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que os tratamentos com ROI e FMI + ROI têm um bom potencial no sequestro de C no solo na mitigação de C-CO<sub>2</sub> sem qualquer custo adicional. Ao contrário, aumentou a produção e retorno líquido da maioria das culturas em C-CO<sub>2</sub> equivalente. Aumentos no C do solo fazem-no mais produtivo levando ao aumento da produtividade das culturas. As tecnologias de sequestro de C, portanto, devem ser promovidas através de incentivos, recursos tecnológicos e apoio político aos agricultores no uso adequado de resíduos como forma de adubação como é o caso do ROI.

Adicionalmente, constatou-se após os 6 anos do experimento maior eficiência energética (produção total de biomassa = grãos + resíduos culturais) dos tratamentos com o uso de ROI, atingindo o seu máximo no ROI 100.

O balanço energético, o retorno energético líquido e a eficiência energética do sistema de produção com base no uso contínuo de ROI é um parâmetro que pode ser utilizado para determinar a intensidade ideal de gestão dos solos e das culturas do ponto de vista ecológico.

Os parâmetros energéticos se apresentaram como ferramenta muito útil na avaliação do potencial de sustentabilidade na gestão de fertilizantes, devido mudanças a longo prazo na fixação de energia, na produção de energia líquida, e na utilização de energia que refletiram nas mudanças do estoque de C-CO<sub>2</sub> do solo induzidas pela administração de fertilizantes. Todos os insumos utilizados nos agro-ecossistemas podem ser expressos em termos de energia na forma de carbono equivalente.

## 1.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLUVIONE F.; MORETTI B.; SACCO D.; GRIGNANI, C. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. **Energy**, v. 36, n. 7, p. 4468-4481, 2011.

BAYER , C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-til l. **Soil Tillage Research**, v. 86, p. 237- 245, 2006.

CHEN, J. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. **International Workshop on Sustained Management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use**. Land Development Department Bangkok, Thailand, p.20, 2006.

DALGAARD, T.; HALBERG, N.; PORTER, J. R. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 87, n. 1, p. 51-65, 2001.

DANNOWSKI, M.; SCHÄFER, W.; KÜNKEL, K. Standortspezifische Aussagen zur Energienutzung von Winterweizen im Freiland **Archeives Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk.**, n. 25, p. 601-610, 1981.

FAAIJ, A.; VAN REE, R.; WALDHEIM, L.; OLSSON, E.; OUDHUIS, A.; VAN WIJK, A.; DAEY OUWENS, C.; TURKENBURG W.; Gasification of biomass wastes and residues for electricity production. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, n. 6, p. 387-407, 1997.

FADARE, D. A.; BAMIRO, A. O.; ONI A. O. Energy and cost analysis of organic fertilizer production in Nigeria. **Energy**, v. 35, n. 1, p. 332-340, 2010.

FAOSTAT (2014) FAOSTAT Emissions database. Agriculture: Disponível em: <[http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G1/\\*/E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G1/*/E)> e Land Use: <[http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G2/\\*/E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G2/*/E)> Acessado em 01/05/2017.

FAOSTAT, 2015. FAOSTAT online database em <[http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G2/\\*/E](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G2/*/E)>. Acessado em 25/11/2017.

FAOSTAT: FAO statistical databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2016.

FIALA, M.; BACENETTI, J. Economic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. **Biomass and bioenergy**, v. 42, p. 107-113, 2012.

FIALA, N. Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. *Ecology Economy*, v. 67, n. 4, p. 519-525, 2008.

FLUCK, R. C., Energy in Farm Production. **Elsevier Science Publishers**, 1992.

GAVRILESCU, M., & CHISTI, Y. Biotechnology a sustainable alternative for chemical industry. **Biotechnology advances**, v. 23, n. 7, p. 471-499, 2005.

GERBENS-LEENES P. W.; NONHEBEL S.; KROL M. S. Food consumption patterns and economic growth. Increasing affluence and the use of natural resources. **Appetite**, v.55, p. 597-60, 2010.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R., HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F. E.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GOODLAND R. Environmental sustainability in agriculture: diet matters. **Ecological Economics**, v. 23, p. 189-200, 1997.

GREEN, M. B. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsel, Z. R. (Ed.), *Energy in World Agriculture*, **Elsevier**, v. 2, p. 165-177, 1987.

HEICHEL, G. H.; Agricultural Production and Energy Resources: Current farming practices depend on large expenditures of fossil fuels. How efficiently is this energy used, and will we be able to improve the return on investment in the future? **American Scientist**, p. 64-72, 1976.



HEICHEL, G. H.; Comparative efficiency of energy use in crop production. **Agricultural Experiment Station, Stons**, p. 26, 1973.

HORNICK, H. B.; SIKORA, L. J.; STERRETT, S. B. Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. **Agricultural Research Service**, 1984.

HÜLSBERGEN, K. J.; FEIL, B.; BIERMANN, S.; RATHKE, G. W.; KALK, W. D.; DIEPENBROCK, W. A. Method of energy balancing in crop production and its applications in a long-term fertilizer trial. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 86, p. 303-321, 2001.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e AgROIndústrias Associadas**, IPEA, Brasília, 129 p., 2012.

JARACH, M. Sui valori di equivalenza per l'analisi e il bilancio energetici in agricoltura Riv **Ingegneria Agraria**, v. 2, p. 102-114, 1985.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Process Technology**, v. 54, p. 17-46, 1998.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Science**, v. 123, p. 298-305, 1977.

KALK, W. D.; HÜLSBERGEN, K. J. Method for considering the materialized energy (indirect energy consumption) in capital goods on energy balance sheets of farms. **Münster: Hiltrup, Kühn-Archiv**, v. 90, p. 41-56, 1996.

KUEMMEL, B.; LANGER, V.; MAGID, J.; DE NEERGAARD, A.; PORTER, J. R. Energetic, economic and ecological balances of a combined food and energy system. **Biomass Bioener**, v. 15, p. 407-416, 1998.

LAL, R.; Carbon emissions from farm operations, **Environmetal International**, v. 30, p. 981-990, 2004.

LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G.P.; FERRAZ, E.S.B.; BALLESTER M.V. Chemical composition of rain water and anthropogenic influences in the Piracicicaba River basin, southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 4937–4945, 2001.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. Introdução à gestão ambiental de resíduos. **Infarma**, v. 8, p. 73-77, 2004.

MENG, L.; DING, W.; CAI, Z.; Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N<sub>2</sub>O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 11, p. 2037-2045, 2005.

MÜLLER, G. **Complexo agROI ndustrial e modernização agrária**. São Paulo: Hucitec, 1989. 148 p.

NAKAMAE, I. J. Anualpec 2007: **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, p. 340, 2007.

PIMENTEL D.; PIMENTEL M., 1979. **Food, Energy and Society**. Edward Arnold, London 165 pgs, 1979.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RAMIREZ C. A.; PATEL, M.; BLOK, K. From fluid milk to milk powder: energy use and energy efficiency in the European dairy industry. **Energy**, v. 31, n. 12, p. 1984-2004, 2006.

RASMUSSEN, P. E.; ALBRECHT, S. L.; SMILEY, R. W. Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid Pacific Northwest agriculture. **Soil Tillage Research**, v. 47, p. 197-205, 1998.

ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. D.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 477-487, 2015.

SÁ, J.C.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by ploughing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of sub-tropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation Development**, v. 26, p. 531–543, 2013.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2. ed. 2006. 306p

SARTORI, L.; BASSO, B.; BERTOCCO, M.; OLIVIERO G. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. **Biosystem Engineer**, v. 91, n. 2, p. 245-256, 2005.

SAXENA, R. C.; ADHIKARI, D. K.; GOYAL H. B. Biomass-based energy fuel through biochemical routes: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 1, p. 167-178, 2009.

SINGH, J.; PANESAR, B. S.; SHARMA S. K. Energy potential through crop biomass using

SOUZA J. L.; PREZOTTI L. C.; GUARÇONI M. A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Revista Idesia**, v. 30, p. 7-15, 2012.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T. D.; CASTEL, V.; DE HAAN C. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome. 2006.

SWAMINATHAN, M. S.; KESAVAN, P. C. Agricultural Research in an Era of Climate Change. **Agricultural Research**, v. 1, n. 1, p. 3-11. 2012.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V.S. (Org.) Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, v.5, p.120-123, 2002.

TREWARTHA, G. T.; HORNE, L. H. **Na introduction to climate**. New York . Mc Graw - Hill, 1990.

WEIDEMA, B.; THRANE, M.; CHRISTENSEN, P.; SCHMIDT, J.; LOKKE, S. Carbon Footprint - a Catalyst for Life Cycle Assessment? **Journal for Industrial Ecology**, v. 12, p 3-6, 2008.

WEINDORF, D. C., MUIR, J. P., & LANDEROS-SÁNCHEZ, C. **Organic compost and manufactured fertilizers: economics and ecology**. Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Springer Netherlands. p. 27-53, 2011.

WHITE, T. Diet and the distribution of environmental impact. **Ecological Economics**, v. 34, p. 145-153, 2000.

## **CAPITULO 2. MOVIMENTO DO NITRATO EM COLUNAS DE SOLO COM E SEM REVOLVIMENTO EM RESPOSTA AO USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS INDUSTRIAIS**

### **2.1 RESUMO**

O uso de resíduos orgânicos industriais como alternativa na adubação das culturas é uma estratégia ambientalmente correta. No entanto, o excesso desse material no solo pode ocasionar poluição de mananciais devido a percolação de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no perfil. No presente trabalho foi avaliado a dinâmica da mineralização e percolação de nitrogênio com a utilização de resíduos industriais oriundo do abatedouro de aves e suínos adicionados ao solo. Dois experimentos foram conduzidos em laboratório: (1) colunas de lixiviação em PVC com solo revolvido (RE) e não revolvido (NRE), juntamente com diferentes doses de resíduo orgânico industrial (ROI) de abatedouro; (2) incubação do solo (peneirado) com doses de resíduo oriundo de abatedouro a fim de avaliar a mineralização do resíduo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completamente casualizados com seis tratamentos distribuídos em três repetições e constituídos por doses de (ROI): 0  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; 0,5  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; 1,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; 2,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; 4,0  $\text{Mg ha}^{-1}$  e 8,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Avaliou-se a mineralização periodicamente durante 115 dias e a lixiviação em 180 dias. Observou-se no ensaio de percolação de nitrato em colunas de solo NRE e RE o aumento da percolação e foi proporcional ao aumento de doses de ROI adicionado, confirmando a alta taxa de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  e mobilidade N no solo. Houve menor tendência de percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  em solo RE mostrando uma menor disponibilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  na solução este solo, principalmente na camada de 0-20 cm. Após 180 dias de incubação a leitura do teor de  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizado demonstrou que o elemento ainda estava presente na solução do solo, desta forma, tanto o solo NRE como para o solo RE apresentam potencial de percolação. No ensaio da taxa de mineralização de nitrato com o aumento de dose de ROI observou-se elevada nitrificação conforme aumentou a quantidade de ROI e atingiu maior incremento nas doses de 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$  apresentando grande potencial de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  após 120 dias. O presente estudo evidencia que o teor de  $\text{N-NO}_3^-$  apresentou maior disponibilidade no solo após 40 dias, sendo assim indicado a aplicação desse resíduo para a fertilização dos cultivos.

**Palavra- chave:** Percolação, mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$ , resíduo orgânico, nitrato.

## NITRATE MOVEMENT IN SOIL COLUMNS WITH AND WITHOUT REVOLVING IN RESPONSE TO THE USE OF INDUSTRIAL ORGANIC RESIDUES

### 2.2 ABSTRACT

The use of industrial organic wastes as an alternative in crop fertilization is an environmentally sound strategy. However, the excess of this material in the soil can cause pollution of springs due to percolation of nitrate ( $\text{N-NO}_3^-$ ) in the profile. In the present work the dynamics of nitrogen mineralization and percolation with the use of industrial waste from the slaughtering of poultry and pigs added to the soil were evaluated. Two experiments were carried out in the laboratory: (1) PVC leaching columns with revolved soil (RE) and non-revolved soil (NRE), together with different doses of industrial organic waste (IOW) from slaughterhouse; (2) incubating soil (sieved) with doses of residue from slaughterhouse in order to evaluate the mineralization of the residue. The experimental design used was randomized blocks with six treatments distributed in three replicates and constituted by doses of (IOW):  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  $0.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  $1.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  $2.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  $4.0 \text{ Mg ha}^{-1}$  and  $8.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The mineralization was evaluated at 115 days and total leaching at 180 days. It was observed in the nitrate percolation test in NRE and RE soil columns the increase of the percolation and was proportional to the increase of IOW doses added, confirming the high  $\text{N-NO}_3^-$  mineralization rate and N mobility in the soil. There was less tendency of percolation of  $\text{N-NO}_3^-$  in RE soil showing a lower availability of  $\text{N-NO}_3^-$  in this soil solution, mainly in the 0-20 cm layer. After 180 days of incubation, the  $\text{N-NO}_3^-$  mineralized content showed that the element was still present in the soil solution, so both NRE soil and RE soil presented percolation potential. In the nitrate mineralization rate test with the increase of IOW dose, high nitrification was observed as the amount of IOW increased and reached a larger increase in the doses of 4 and  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , presenting great potential of  $\text{N-NO}_3^-$  after 120 days. The present study shows that the  $\text{N-NO}_3^-$  content had greater availability in the soil after 40 days, thus indicating the application of this residue for the fertilization of the crops.

**Key words:** Percolation, mineralization of  $\text{N-NO}_3^-$ , organic waste, nitrate.

## 2.3 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de grãos deverá aumentar em 21,5% nos próximos 10 anos, chegando a 288,2 milhões de toneladas, um acréscimo de 51 milhões de toneladas em relação à safra (2016/2017), de 237 milhões de toneladas, o que leva a uma agricultura intensiva com uso excessivo de fertilizantes nitrogenados para suprir e aumentar o potencial produtivo das culturas (MAPA, 2017). Além disso, com o advento do sistema de plantio direto os solos precisam de matéria orgânica para melhorar e manter sua fertilidade.

Diferentes resíduos orgânicos são atualmente utilizados como uma alternativa de acréscimo na demanda por matéria orgânica na agricultura. A utilização de resíduos orgânicos é uma alternativa que contribui na melhoria das condições do solo. Alterações na fração orgânica do solo melhoram as propriedades físicas, tais como capacidade de retenção de água, densidade e estrutura (ARAUJO, GOEDERT & LACERDA, 2007). Além disso, a aplicação de resíduos orgânicos aumenta a quantidade de nutrientes do solo (BELLAMY et al., 1995, BARKER 1997), reduzindo assim a necessidade de fertilizantes inorgânicos.

A utilização de resíduos orgânicos pode ser benéfica para produção das culturas em relação a adubação mineral, proporcionando ao mesmo tempo um método eficiente e de baixo custo-efetivo de destinação desses produtos. Há vários estudos comprovando alterações orgânicas no solo, com melhoras nas propriedades físicas, químicas e biológicas (GIUSQUIANI et al., 1995, ARAUJO, GOEDERT & LACERDA, 2007) aumento dos nutrientes disponíveis e da produção agrícola (HUE et al., 1994, BELLAMY et al., 1995, CHEN & XIAO, 1996, MADEJÓN et al. 2003). No entanto, o uso de alguns resíduos orgânicos ricos em nitrogênio (N) pode liberar grandes quantidades de N mineral através da mineralização.

Além disso, as altas temperaturas e a natureza dos solos podem proporcionar condições favoráveis para rápida mineralização de N a partir de materiais orgânicos. Solos com textura média ou arenosa e baixa capacidade de troca catiônica ao receberem altas cargas de fertilizantes ricos em N poderiam aumentar o risco potencial de poluição do lençol freático por nitrato (HARRISON-KIRK et al., 2014; QI et al., 2016). Neste caso, a textura do solo influencia na mineralização de N e está relacionada ao teor de argila (BRELAND & HANSEN 1996). Em solos com maior teor de argila, há uma proteção física contra mineralização da matéria orgânica (STENGER et al., 1995). Scott et al. (1996) sugeriu que

pequenos espaços porosos protegem a matéria orgânica da ação microbiana, enquanto que os poros grandes facilitam a mineralização de N.

A gestão ambiental no uso do N a partir de resíduos orgânicos é necessária para a compreensão dos fatores e processos que influenciam a taxa de conversão de N orgânico em formas que estão disponíveis para absorção ou perda de plantas para o ambiente (ELE et al. 2000). O N disponível na planta é definido como a soma do nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e do amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo, mais o N orgânico mineralizado (GILMOUR & SKINNER 1999).

Durante o processo de mineralização, os microrganismos do solo transformam os compostos orgânicos de N em formas inorgânicas ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ ). Ao mesmo tempo, o processo de imobilização do N inorgânico ocorre com a síntese de proteínas pelos microrganismos (BRADY, 1990). Essa dinâmica é descrita como um sistema de mineralização/imobilização (M-I) (JANSSON & PERSSON, 1982). O conhecimento da taxa de mineralização e imobilização é essencial para a correta utilização de fertilizantes, minimizando assim as perdas de  $\text{N-NO}_3^-$  por lixiviação e evitar efeitos ambientais negativos nas águas subterrâneas.

A mineralização do nitrogênio de resíduos orgânicos no solo é afetada pelas características do material orgânico, pelas propriedades físicas do solo e pelos fatores ambientais (SIMS, 1995). A razão C/N dos resíduos mostrou-se inversamente proporcional à mineralização do N (APPEL & MENGEL, 1990). A razão C/N ótima encontrada foi entre 15 e 40 (CABRERA, VIGIL & KISSEL, 2005).

No Brasil os estudos realizados sobre os processos de mineralização e lixiviação de N estão relacionados aos resíduos culturais e resíduos de dejetos de animais. Contudo, poucos são os voltados para resíduos oriundos de produção agroindustrial como é o caso de resíduos de abatedouro. No entanto, os conhecimentos das reações da dinâmica do nitrogênio são fundamentais para que se possam fazer recomendações eficientes e precisas sobre o uso de resíduos orgânicos de abatedouro como fertilizante. O objetivo deste estudo foi investigar a dinâmica do N do resíduo orgânico industrial provindo de abatedouro aplicado na forma de adubação afeta e altera a mineralização e percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo.



## 2.4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.4.1 Experimento para determinação da percolação de nitrato

As amostras de solo, revolvidas (RE) e não revolvidas (NRE), foram coletadas da camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico da Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON) situada no município de Ponta Grossa, PR (25° 05' S e 50° 03' W). A classe textural do solo analisado segundo a SBCS, 2013 é franco-argilo arenoso. Algumas características do solo amostrado são apresentadas na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1.** Atributos químicos do solo da área experimental (Cambissolo Háplico, Ponta Grossa – PR).

| Prof. (cm) | pH <sup>(1)</sup> | H + Al <sup>(2)</sup> | Al <sup>+3</sup> <sup>(3)</sup> | Ca <sup>+2</sup> <sup>(4)</sup>    | Mg <sup>+2</sup> <sup>(4)</sup> | K <sup>+</sup> <sup>(4)</sup> | CTC <sup>(5)</sup> | P <sup>(4)</sup>   | C <sup>(6)</sup>   |
|------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cm         |                   |                       |                                 | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |                                 |                               |                    | mg dm <sup>3</sup> | g kg <sup>-1</sup> |
| 0-5        | 4,86              | 6,62                  | 0,09                            | 3,58                               | 1,63                            | 0,36                          | 12,2               | 52,0               | 18,8               |
| 5-10       | 4,70              | 7,27                  | 0,17                            | 1,47                               | 1,47                            | 0,25                          | 10,4               | 40,1               | 11,1               |
| 10-20      | 4,60              | 7,15                  | 0,21                            | 2,23                               | 1,24                            | 0,19                          | 10,8               | 30,7               | 8,9                |
| 0-20       | 4,58              | 7,18                  | 0,19                            | 2,51                               | 1,29                            | 0,24                          | 11,2               | 38,1               | 11,9               |

Os números nas linhas representam a média de dez pontos coletados na área experimental. 1: pH extraído por CaCl<sub>2</sub> (1:1); 2: Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e determinado por titulação; 3: Extraído com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por titulação com NaOH; 4: extraído por solução de Melich-1; 5: CTC potencial; 6: Média de nove pontos analisados por combustão seca;

As amostras indeformadas (totalizando 18), foram coletadas em tubos de policloreto de vinil (PVC), denominados lisímetros, com dimensões de 25 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro, com o auxílio de um macaco hidráulico, que introduziu a coluna de PVC até 20 cm de profundidade. Para a retirada dos tubos, escavou-se ao redor da coluna causar deformação na estrutura do solo. As amostras deformadas (n=18), foram coletadas com o auxílio de pás de corte e foram destorroadas manualmente e peneiradas em malha de 2 mm.

Acima e abaixo da coluna de solo foi colocado um filtro constituído de manta térmica sintética para reduzir a percolação do volume pelas paredes do tubo e o impacto da solução diretamente com o solo, permitindo melhor filtragem. A parte de baixo das mesmas foi vedada com tampa em PVC com filtro a mesma apresentava um orifício de 3 mm de diâmetro, permitindo o escoamento da solução percolada. A parte superior também foi vedada para minimizar a evaporação da água, no entanto com pequeno orifício para as que as trocas gasosas não fossem totalmente interrompidas (Figura 2.1). O período de coletas e incubação ocorreu durante 180 dias com coletas periódicas (semanais).



**Figura 2.1.** Disposição do experimento para avaliação da percolação de nitrato. Tubos de PVC contendo amostras de solo não revolvido ou revolvido com adição ou não de ROI em experimento de análise de percolação de  $\text{N-NO}_3^-$ .

O delineamento experimental foi completamente casualizado em arranjo fatorial ( $2 \times 6$ ), com três repetições. O fator 1 foram o tipo de amostra (solo não revolvido ou revolvido - peneirado). O Fator 2 é respectivo aos seis tratamentos com doses de ROI (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), este ROI foi adicionado na superfície das colunas com o solo não revolvido e revolvido, com deposição do resíduo sobre o solo.

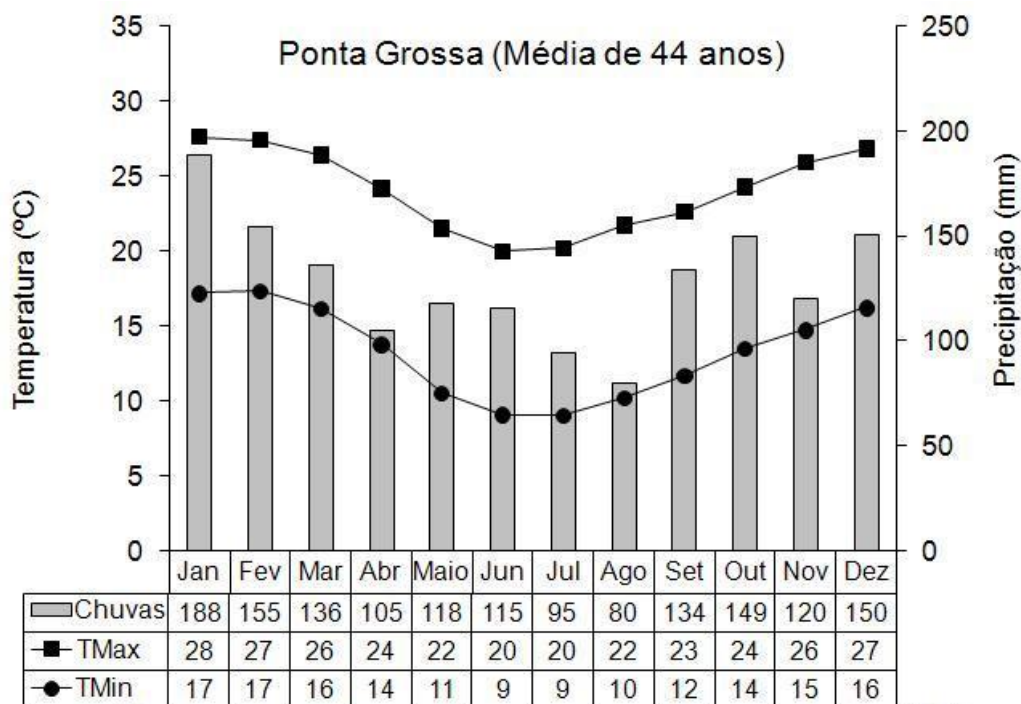
#### 2.4.2. Características do resíduo orgânico

O composto utilizado possui resíduos orgânicos industriais (ROI) de abatedouro oriundos do processo de abate de aves e suínos o qual inclui aves mortas no transporte, excrementos, sangue, pelos, penas, cartilagem, pele, patas, bico, lodos biológicos das lagoas de tratamento de resíduos e cinzas de caldeira. Maiores detalhes de composição e processos vide Capítulo 1 pg 28.

#### 2.4.3 Controle Pluviométrico

Semanalmente, durante o período de avaliação (180 dias), foi adicionada água deionizada de acordo com a média histórica de chuvas da região. A quantidade de água foi calculada de acordo com a pluviosidade local de cada mês (out/mar) (149, 120, 188, 155, 136, 105 mm) em uma safra de verão conforme figura 2.2. Cada volume de água mensal foi

dividido em 4 semanas de aplicação. A primeira adição foi feita sete dias após a aplicação do ROI.



**Figura 2.2.** Série de dados no período de 44 anos em Ponta Grossa: distribuição mensal da precipitação pluviométrica (barras) relacionada com média da temperatura máxima (■ Tmax.) e temperatura mínima (● Tmin.) para os meses de janeiro a dezembro. Fonte: IAPAR,2010.

A solução percolada foi coletada após irrigação das colunas de percolação, foi filtrada em papel faixa azul com poros 8  $\mu\text{m}$  e congelada para posterior análise. Em cada amostra foi determinado a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$ , pelo método de Fluxo de Injeção Contínua (FIA), de acordo com TEDESCO et al. (1995). A quantidade total de nitrato percolado durante os meses foi obtida pelo somatório dos volumes semanais.

Ao final dos 180 dias foi coletado as amostras de solo dos lisímetros e a partir delas medido a quantidade de nitrato remanescente, no qual 10 g de solo úmido foi misturado com 50 mL da solução 2N de KCl, em seguida passou por agitação manual, repouso por 24 horas e após essa etapa, foram filtradas em papel filtro faixa azul de poros 8  $\mu\text{m}$  para extração do  $\text{N-NO}_3^-$ . Na solução filtrada fez-se a determinação de nitrato em aparelho de Fluxo de Injeção Contínua (FIA), conforme metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995).

#### 2.4.4 Experimento para determinação da mineralização de nitrato

Parte do solo das amostras deformadas, também foram destorroadas, peneiradas em malha de 2 mm e colocado em recipientes de polivinilcloreto 10 cm diâmetro e 20 cm de altura (Figura 2.3) e mantidos sob temperatura entre 25 e 28°C, para o estudo da

mineralização do  $\text{NO}_3^-$ . O material orgânico (ROI) foi disposto na superfície do solo (sem mistura ou revolvimento) com taxas equivalentes a cerca de 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0  $\text{Mg ha}^{-1}$ , cada frasco continha 500 g de solo. Neste caso, utilizou-se um delineamento completamente casualizado com três repetições por tratamento.

Os recipientes foram periodicamente irrigados, mantendo-se a capacidade de campo a 70%, durante o período de avaliação. Os frascos eram fechados hermeticamente para evitar trocas gasosas, e foi controlada a perda de umidade por meio de pesagem periódica de cada frasco.



**Figura 2.3.** Frascos de polipropileno contendo solo peneirado com adição ou não de resíduo de abatedouro utilizado no experimento para avaliação da mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$ .

Neste estudo, ao total, foram realizadas 11 coletas do solo contido nos frascos de polipropileno ao longo de 115 dias de incubação (nos 0, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 115 dias). Os frascos eram abertos e retirada alíquota (5 g) para análise em seguida os mesmos eram fechados. A determinação do  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizado foi realizada com extração através da solução de  $\text{KCl 2N}$  de acordo com TEDESCO et al. (1995). Na solução filtrada fez-se a determinação de nitrato em aparelho de Fluxo de Injeção Contínua (FIA).

#### 2.4.5 Análises estatísticas

Aplicou-se o modelo estatístico de delineamentos completamente casualizado (DCC) em arranjo fatorial ( $2 \times 6$ ) para o estudo da percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  e apenas o DCC para o

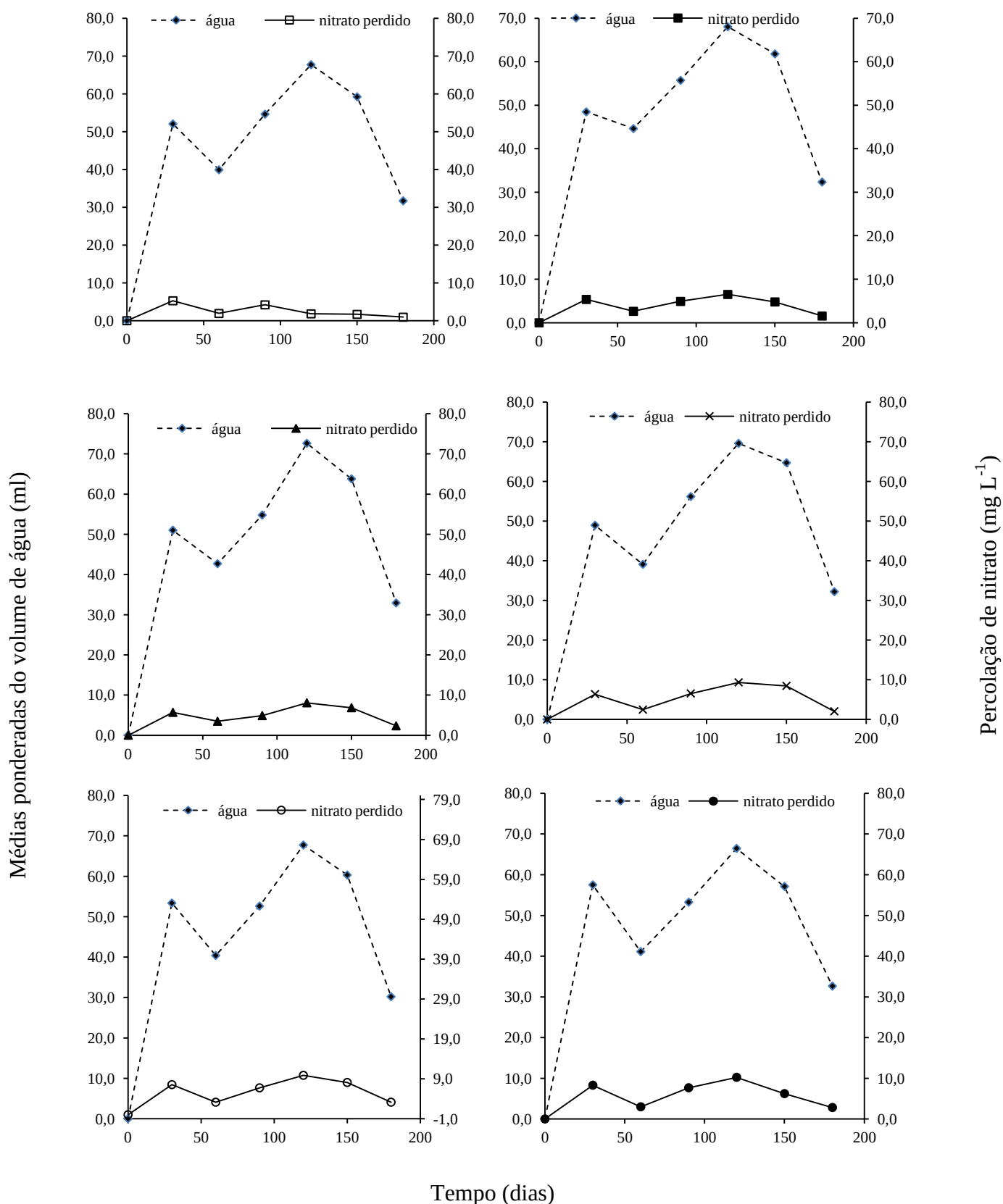
estudo da mineralização de  $\text{NO}_3^-$ , ambos com três repetições. Aos casos de F significativo, foi utilizado o teste de Tukey para comparações de médias entre os tipos de solo (indeformado e deformado) e a análise de regressão polinomial para as doses de ROI aplicadas. Os níveis de significância testados foram de  $p < 0,05$  e  $p < 0,01$ . As análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 3.3.1 (R Core Team, 2016).

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Movimentação do nitrato no solo

As Figura 2.4 e 2.5 ilustram a evolução do conteúdo  $\text{N-NO}_3^-$ , durante a incubação, em solo não revolvido (NRE) e revolvido (RE) e sua relação com o volume de água aplicado no solo nas diversas doses de ROI. O processo de decomposição dos resíduos orgânicos é complexo e é regulado por propriedades químicas e físicas dos solos e dos resíduos a ele adicionado (MALUF et al., 2015). Em resíduos com baixo teor de lignina ou compostos fenólicos e com alto teor de compostos solúveis, nitrogênio e partículas de tamanho reduzido e com baixa relação C:N, como é o caso do ROI, a decomposição é favorecida (AITA & GIACOMINI, 2007).

Em colunas de solo não revolvido (Figura 2.4) a percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  foi crescente conforme aumento da dose de ROI, com aceleração na mineralização da matéria orgânica e maior liberação de  $\text{N-NH}_4^+$  haverá maior nitrificação de  $\text{N-NO}_3^-$ , transformando assim  $\text{N-NH}_4^+$  em  $\text{N-NO}_3^-$  e, em consequência, o  $\text{N-NO}_3^-$  será mais susceptível a percolação (ROMANIW, 2013). Resultados semelhantes ao presente estudo com percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  foram reportados por Sartor et al. (2012) onde observou percolação superior com a manutenção de palha na superfície do solo, os mesmos autores atribuem os valores encontrados as condições favoráveis de temperatura e umidade que favorecem a atividade microbiana, resultando em superior mineralização da matéria orgânica.



**Figura 2.4** Percolação de nitrato e água percolada em solo com diversas doses de resíduo de abatedouro em coluna com solo não revolvido de acordo com tempo de coleta em dias. Tratamentos: - □ controle; ■ 0,5 Mg ROI; ▲ 1 Mg de ROI; × 2 Mg de ROI; ○ 4 Mg de ROI; ● 8 Mg de ROI.

## Solo revolvido

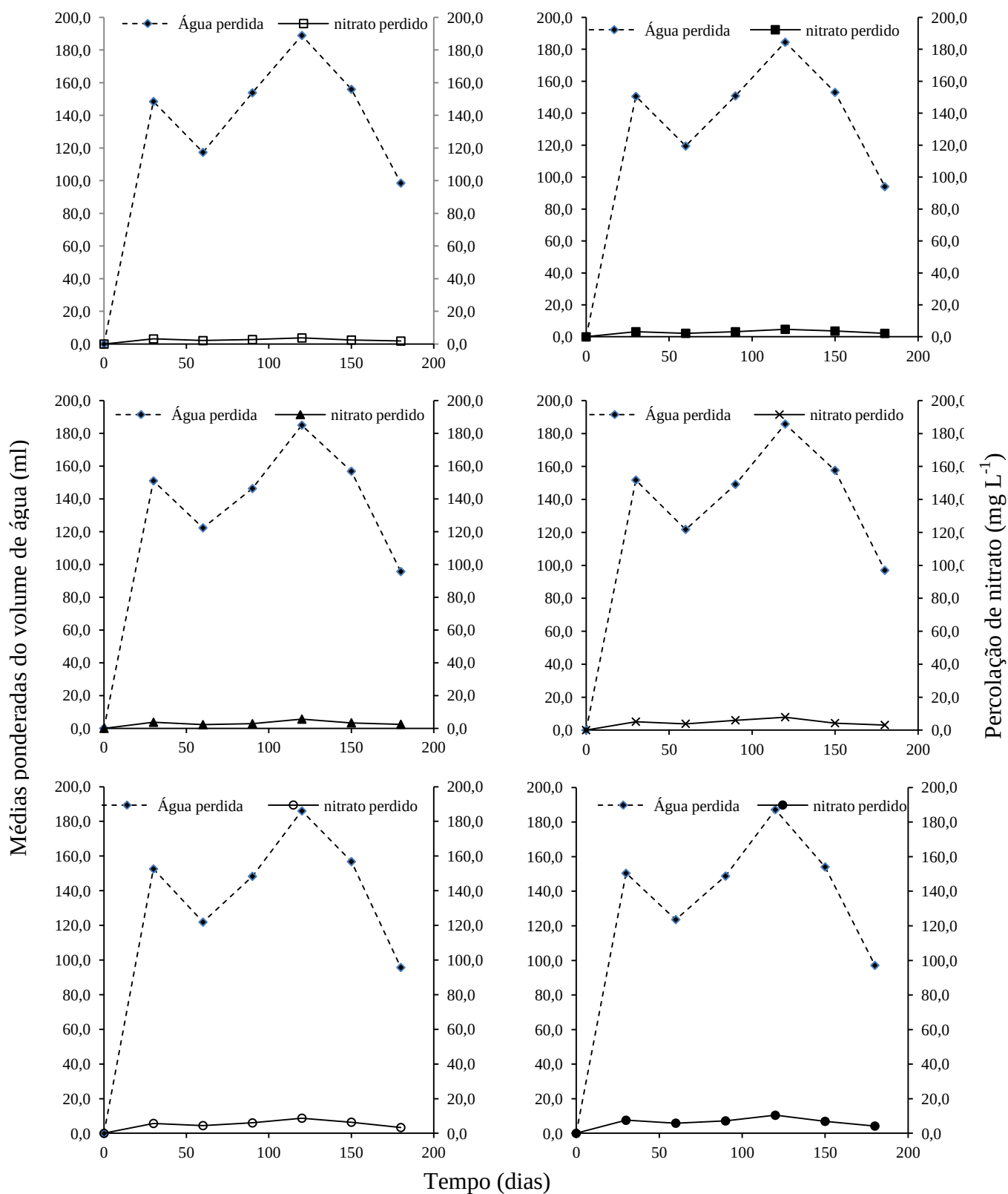


Figura 2.5 Percolação de nitrato e água percolada em solo com diversas doses de resíduo de abatedouro em coluna com solo revolvido de solo de acordo com tempo de coleta em dias. Tratamentos: - □ controle; ■ 0,5 Mg ROI; ▲ 1 Mg de ROI; × 2 Mg de ROI; ○ 4 Mg de ROI; ● 8 Mg de ROI.



Aos 30 dias após incubação, os solos tratados com ROI mostraram conteúdo médio de  $\text{N-NO}_3^-$  percolado de  $6 \text{ mg L}^{-1}$  para o solo não revolvido (NRE) e  $5 \text{ mg L}^{-1}$  para o solo revolvido (RE) que foi variando conforme o tempo do experimento a quantidade de ROI adicionada e o volume de água aplicada ao solo (Figuras 2.4 e 2.5).

A média de  $\text{N-NO}_3^-$  percolado no solo não revolvido (NRE) e revolvido (RE) durante os 180 dias entre todos os tratamentos foi similar variando em apenas aproximadamente  $0,2$  a  $2 \text{ mg L}^{-1}$  para mais ou para menos em todos os períodos, com exceção das doses  $1$  e  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  no período de 150 dias. Todavia, o conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  tendeu a oscilar até o final do período de incubação (Figura 2.4 e 2.5). Tal oscilação se deve ao conteúdo de água aplicado conforme maior quantidade a percolação aumentava.

A percolação atingiu picos aos 90 e 120 dias tanto solo RE quanto no NRE (Figuras 2.4 e 2.5), coincidindo com a aplicação da simulação de maior volume de chuvas acumuladas ( $155$  e  $188 \text{ mm}$ ), dados semelhantes foram relatados por Li et al (2007). O conteúdo de água percolado nos tubos com solo NRE e RE não variou conforme as doses, porém nos tubos com solo NRE a perda foi em média  $2,8$  vezes menor do que no solo RE (Figura 2.4 e 2.5). Tal fato pode ser explicado pela afirmação de Baggs et al. (2003; 2006) no solo sem revolvimento há a maior conservação da água. Além disso, a manutenção da MOS proporciona maior atividade biológica e permite maior retenção de N na biomassa microbiana (CHRISTENSEN, 2001). Lindahl e Bockstaller, (2012), atestam que solos com uma proporção elevada de macroporos, como ocorrem em solo revolvido, podem facilitar o fluxo preferencial e aumento da taxa de infiltração de água no solo o que favorece a perda de água e nutrientes por percolação.

Comparando as doses crescentes de ROI no solo NRE a oscilação média na concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  entre a menor e maior dose ( $0,5$  e  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi de  $4,3$  a  $6,4 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, enquanto que no solo RE a variação para estas mesmas doses foi até  $7,1 \text{ mg L}^{-1}$ . Tal fato leva a considerar que a estrutura do solo NRE promoveu uma proteção física contra a perda do  $\text{N-NO}_3^-$  mineralizado do N contido no ROI. A mineralização do nitrogênio está associada a modificações da umidade e da temperatura dos horizontes superficiais do solo resultantes da presença de resíduos superficiais (SCHOMBERG et al., 1994).

Na Figura 2.6 é observado que o acumulado do conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  percolado foi maior para o solo NRE. A percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  é afetada por condições físicas (difusão de  $\text{O}_2$ , temperatura do solo, conteúdo de água), químicas (concentração de nitrato e amônio, disponibilidade de C facilmente metabolizável) e biológicas do solo (atividade microbiana). A

desnitrificação, por ser um processo aeróbico, é favorecida em solos bem drenados, com disponibilidade de  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_2^-$  e  $\text{O}_2$ , adequados à atividade microbiana. Em solos agrícolas, a produção de  $\text{N}_2\text{O}$  por desnitrificação é maximizado por condições de umidade no solo na faixa de 35 - 60% do espaço poroso preenchido por água (MATHIEU et al., 2006; SAGGAR et al., 2013), e a disponibilidade do  $\text{N-NH}_4^+$  é essencial ao processo.

A percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  em solos alterados com produtos orgânicos depende da natureza do material, da dose aplicada, do tempo de aplicação, a quantidade de água aplicada, o tipo de solo e no caso de solos cultivados, também pode depender da absorção de N pela cultura. Normalmente, a lixiviação de nitratos é alta quando são aplicados materiais orgânicos de baixa estabilização e ricos em N.

Nos tratamentos com solo RE o volume de água e a frequência da precipitação pluvial aliada a temperatura do solo são os fatores meteorológicos capazes de afetar a extensão dos sítios de anaerobiose, pelo aumento direto da umidade do solo e da porosidade preenchida por água e indiretamente pelo efeito da temperatura na atividade microbiana. Entre as práticas de manejo de solo, aquelas que resultem no aumento da atividade biológica no solo podem aumentar a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  por consumir o  $\text{O}_2$  disponível (BALL et al., 1999; BAGGS et al., 2003; BAGGS & BLUM, 2004), criando nichos de anaerobiose, quando o suprimento de  $\text{O}_2$  é menor que a sua demanda no solo. Nesses locais, microrganismos que apresentam enzimas necessárias ao processo passam a desnitrificar e a produzir  $\text{N}_2\text{O}$ .

O comportamento do  $\text{N-NO}_3^-$  percolado na dose de 8 Mg de ROI, foi semelhante a dose de 4  $\text{Mg ha}^{-1}$  no solo RE e NRE. Isso evidência que após o período de incubação ainda ocorra mineralização de nitrato- $\text{NO}_3^-$ , indicando que em solo RE elevada dose (8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) continuar a liberar  $\text{N-NO}_3^-$  (Figura 2.4 e 2.5). Após 180 dias de incubação, o  $\text{N-NO}_3^-$  não atingiu um valor constante, indicando que o tempo de incubação do experimento não foi suficiente para completar toda a mineralização do  $\text{N-NO}_3^-$  no solo tratado com ROI. Longos períodos de imobilização de N em solos com aplicação de produtos compostados também foram observados por Madejón (1996).

As maiores concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  acumuladas na água perdida foram 42,84 e 42,48  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  nas doses de 5,37 e 7,88  $\text{Mg ha}^{-1}$  para o solo NRE e RE, (Figura 2.6). De acordo com a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  percolada no solo tratado com ROI excedeu o máximo da concentração admissível para nitrato de 10  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3^-$ . As perdas de  $\text{N-NO}_3^-$  obtidas foram inferiores aos observados por outros autores no em condições de campo sob fertilização

orgânica e inorgânica práticas (ADDISCOTT et al., 1991; STOPES et al., 2002; TAN et al. 2002).

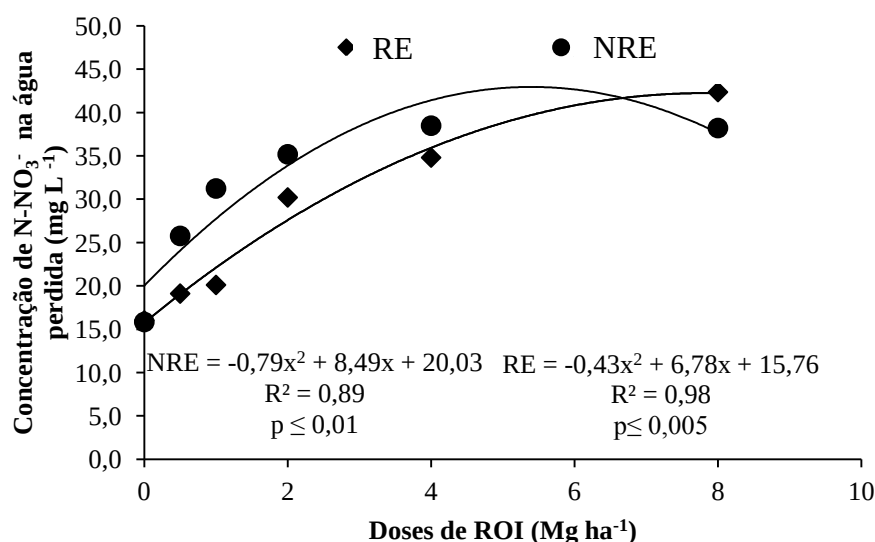


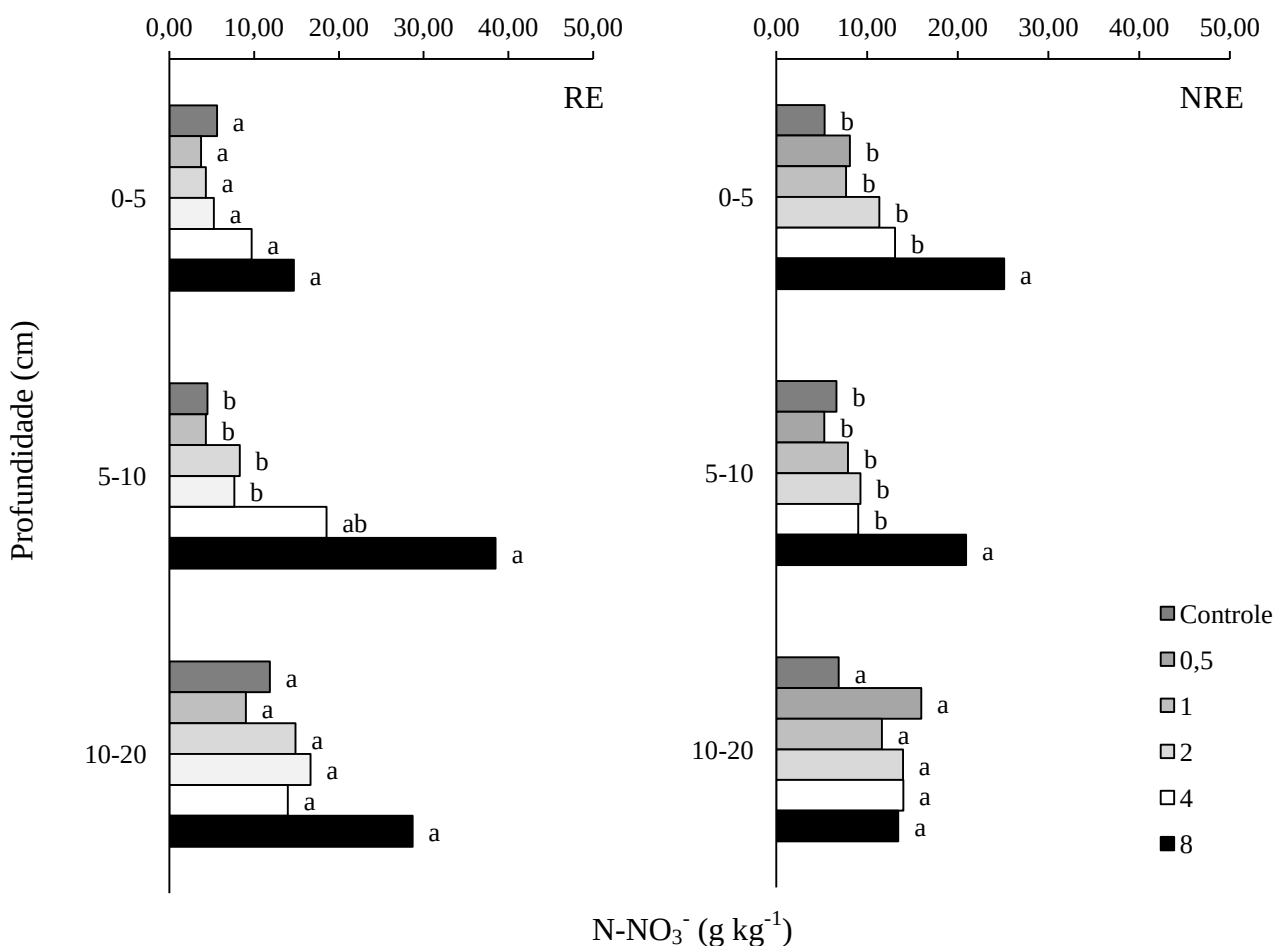
Figura 2.6 Concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  presente na água percolada em solo incubado após 180 dias com doses crescentes de ROI em coluna com solo não revolvido (NRE ●) e com solo revolvido (RE ♦).

No presente estudo a percolação potencial no sistema de coluna com adições crescentes de ROI demonstra que o processo de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  se manteve contínuo (Figura 2.6). A adição de ROI com baixa relação C/N (6,8) pode estimular ainda mais a liberação temporária de nitrogênio e consequentemente retarda a percolação, devido a maior disponibilidade de energia para os microrganismos, cuja a população tenderá a crescer.

#### 2.5.2 $\text{N-NO}_3^-$ remanescente no solo

Ao final do período de incubação, a mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  nas camadas 0-5, 5-10 cm do solo teve aumento de  $\text{N-NO}_3^-$  equivalente as dosagens de ROI aplicado tanto no solo RE (figura 2.7A) quanto no solo NRE (figura 2.7B). Sá et al. (2001) atribui o maior teor de N nas camadas superficiais do solo a baixa relação C/N dos resíduos vegetais e de fertilizantes aplicados. No entanto na camada 10-20 cm, no solo NRE, não ocorreu incremento de nitrato significativo com o aumento nas dosagens, evidenciando uma desnitrificação decorrente de um ambiente anaeróbio, provavelmente com um adensamento das partículas do solo já que este teve sua coleta em uma localidade onde mantém o sistema de plantio direto a 18 anos (Figura 2.7 B). Já na Figura 2.7A, conforme dose e profundidade observou-se maior

conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  remanescente. Entretanto, na camada 0-5 cm que está diretamente em contato com o ROI, um menor conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  remanescente, mostrando que a desestruturação do solo distribui o resíduo para as camadas mais profundas e acelera a ação da microbiota do solo elevando o consumo de N camada mais superficial onde há uma maior aeração.



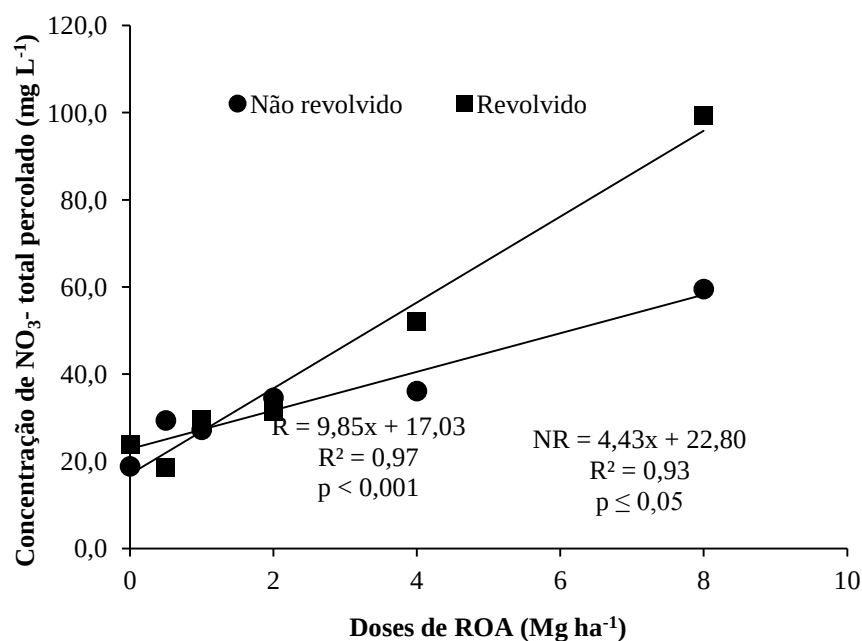
**Figura 2.7** Nitrato remanescente no solo após período de percolação (180 dias) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 e 0-20 cm em coluna de solo revolvido (RE) e não revolvido (NRE) após período de 180 dias em resposta a adição de doses crescentes de ROI (Controle, 0,5, 1, 2, 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

As colunas de solo RE e NRE apresentaram maiores quantidades de  $\text{N-NO}_3^-$  conforme aumentou a quantidade de ROI aplicadas (Figura 2.7 RE).

O teor de  $\text{N-NO}_3^-$  remanescente (Figura 2.7 NRE) confirma a retenção de nitrato na superfície do solo e a baixa mobilização durante os 180 dias do após a aplicação do ROI. As concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo da camada superficial (0-5 cm), foram maiores em colunas

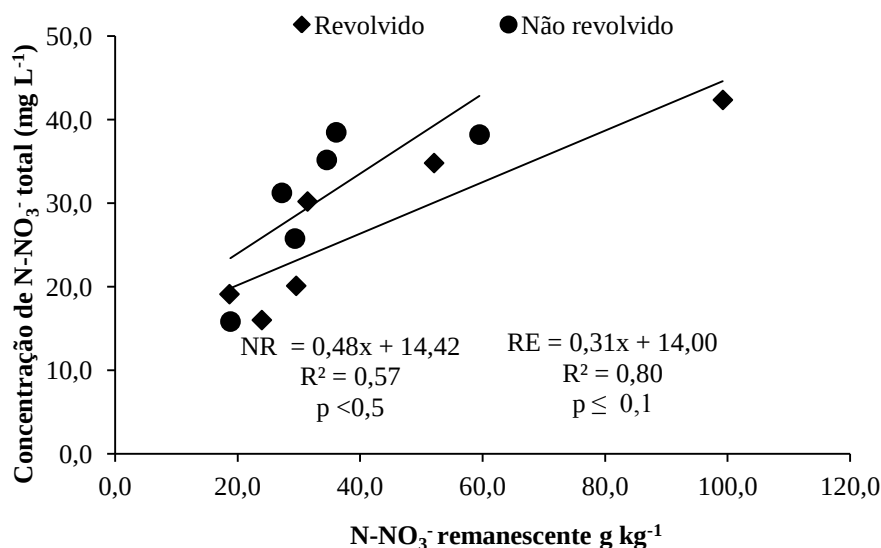
com solo NRE do que nas colunas de solo RE. Entretanto, nas colunas com solo RE, as maiores quantidades de  $\text{N-NO}_3^-$  foram observadas na profundidade de 5-10 cm (Figuras 2.7).

Na camada 0-20 cm (Figura 2.8) a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$  foi semelhante tanto na condição do solo NRE e RE para as doses Controle, 0,5, 1 e 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de ROI aplicado, sendo superior nas doses de 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$  no solo RE. Isso indica maior preservação do  $\text{N-NO}_3^-$  em solo NRE e parte do N do ROI aplicado sendo consumido pelos microrganismos, imobilizado ou desnitrificado ao invés de percolar.



**Figura 2.8** Quantidade de nitrato mineralizado no solo em colunas (0-20 cm) incubado por 180 dias com doses crescentes de ROI com solo não revolvido (●) e revolvido (■).

Na relação entre o  $\text{N-NO}_3^-$  remanescente e o  $\text{N-NO}_3^-$  percolado (Figura 2.9) mostra que a mineralização e nitrificação de  $\text{N-NO}_3^-$  e percolação são semelhantes, de modo que o aumento da mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  pode resultar em maior percolação. Segundo Reicosky et. al, (2007) o revolvimento do solo propicia um ambiente oxidativo através da maior entrada de  $\text{O}_2$  no sistema, favorecendo a atividade microbiana que aumenta a mineralização da matéria orgânica do solo e favorece a nitrificação. Desta forma o melhor desenvolvimento dos microrganismos e a aceleração dos processos de decomposição reabilita a comunidade microbiana, estimulando assim, a liberação do  $\text{N-NO}_3^-$ , que por sua vez consiste na menor assimilação de N para síntese celular da biomassa microbiana (AITA & GIACOMINI, 2007).



**Figura 2.9** Concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  em água percolada e mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\text{N-NO}_3^-$  remanescente) ao final do período de incubação nas colunas em solo não revolvido (NRE) (●) e revolvido (◆) na camada 0-20 cm ao final do período de incubação (180 dias) em solo tratado com doses de ROI (0, 0,5, 1, 2, 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

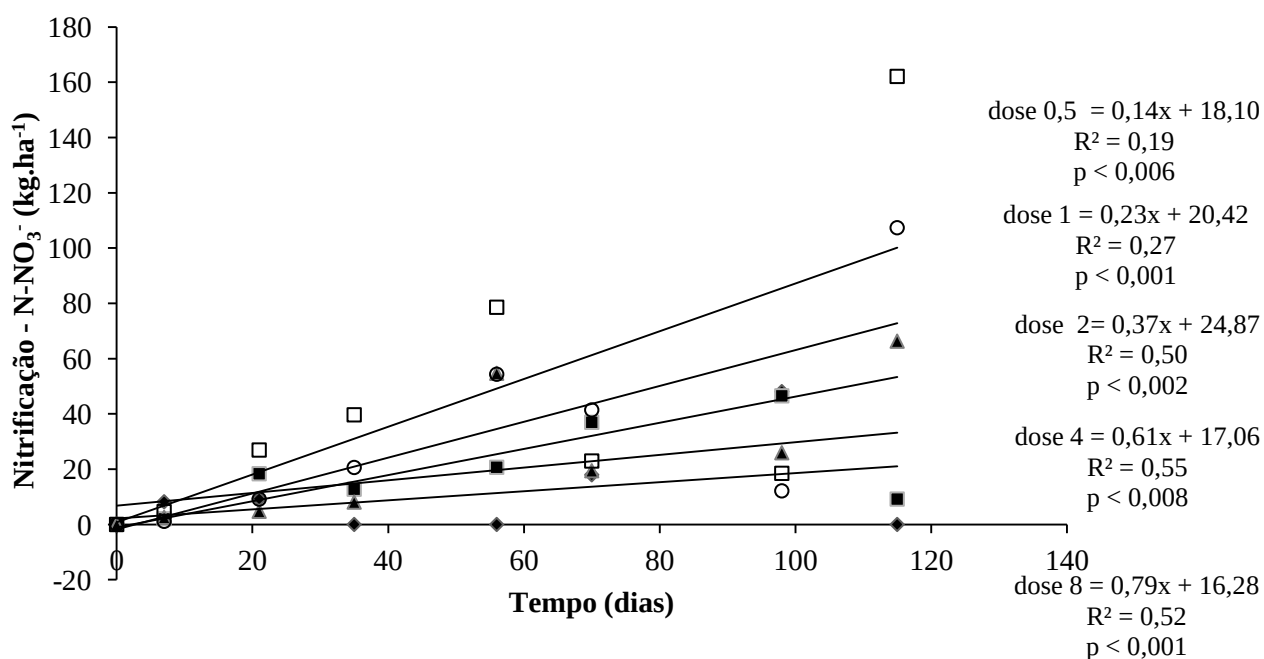
Nas colunas com solo NRE o valor máximo de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  foi de 59,0  $\text{Mg ha}^{-1}$  enquanto nas colunas com solo RE foi de 81,0  $\text{Mg ha}^{-1}$  indicando que em solo NRE a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$  disponível na solução é menor e a sua liberação é mais lenta se comparado a coluna de solo RE onde este  $\text{N-NO}_3^-$  disponível é 2 vezes maior (Figura 2.8). Contudo, esses valores podem ser reduzidos com a presença de plantas no qual as absorve a forma  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  minimizando os problemas com a percolação e em épocas de alta precipitação a ocorrência de desnitrificação em pequenos ambientes anaeróbios. Este estudo permite adequar a utilização de ROI em relação a disponibilidade de N afim de obter benefícios econômicos e ambientais. Silva et al, (2010) em seu experimento com fertilizante a base de dejetos de suínos observa que com aplicação do resíduo a taxa de  $\text{N-NO}_3^-$  se eleva no perfil do solo, mas após a data de aplicação as concentrações de nitrato foram sendo reduzidas devido à extração pela cultura.

### 2.5.3 Mineralização de nitrato com incubação do solo

No comportamento das taxas de mineralização com o aumento de doses de ROI durante 115 dias, nota-se que houve poucas alterações no período inicial (até 40 dias) e após este período apresentou crescentes, diferenciadas conforme a taxa de ROI aplicada (Figura 2.10). Estes mesmos resultados foram obtidos por Carneiro et al. (2013), os quais avaliaram a

mineralização com vários tipos de resíduos orgânicos e todos apresentaram comportamento semelhante, ou seja, rápida mineralização inicial, porém sem diferenças entre os tipos de resíduos. Tal comportamento foi atribuído a decomposição de formas mais lábeis de N inicialmente e após este período predominou as formas mais recalcitrantes.

Vanega Chacón et al. (2011) incorporaram resíduos de farinhas, tortas e vinhaças e compostos orgânicos ao solo e verificaram uma dinâmica de mineralização de nutrientes diferente para cada material orgânico estudado, e relacionaram esse fato a natureza dos resíduos. Nesse aspecto, a análise de diversos resultados de pesquisa concorda com as afirmações de que a decomposição de resíduos pode ser dificultada pelo alto teor de polifenóis ou pelas elevadas relações polifenol: N e (lignina + polifenol): N (ESSE et al., 2001; MONTEIRO et al., 2002; PALM et al., 2001; CABRERA, KISSEL, & VIGIL, 2005 ). Exemplo disso é o estudo realizado por Souto et al. (2005), que avaliaram a velocidade de decomposição de esterco de animais e verificaram que o esterco bovino apresentou uma decomposição mais acelerada em relação aos demais, enquanto o esterco de equino mostrou uma menor taxa decomposição, e este fato esteve relacionado a composição desses materiais.

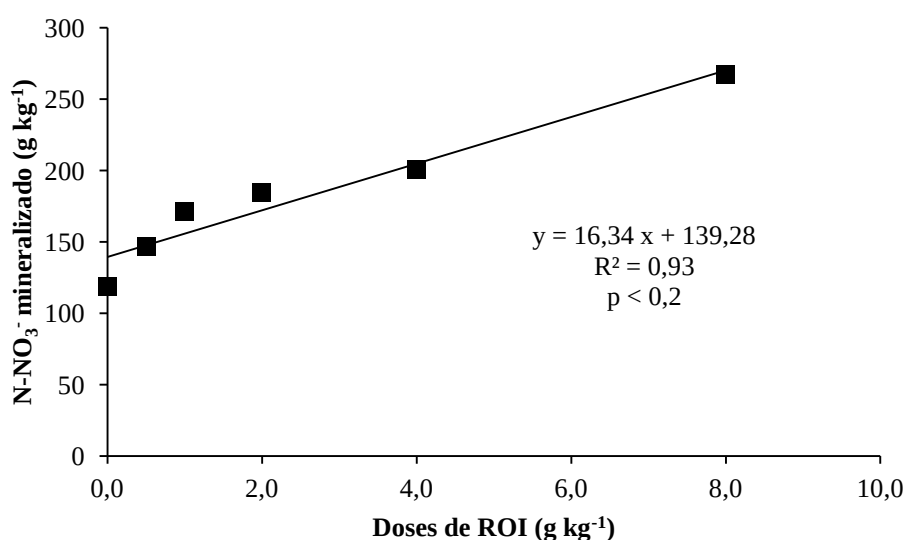


**Figura 2.10** Nitrato mineralizado em solo revolvido com diversas doses de resíduo orgânico. ♦ 500 kg resíduo orgânico por ha (ROI); ■ 1000 kg ha<sup>-1</sup> ROI; ▲ 2000 kg ha<sup>-1</sup> ROI; ○ 4000 kg ha<sup>-1</sup> ROI; □ 8000 kg ha<sup>-1</sup> ROI. (Tratamentos descontados do controle sem ROI)

Como os resultados obtidos na Figura 2.10 evidenciam a quantidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mineralizado na fase inicial de decomposição do ROI é reduzida, pode-se afirmar que para a

utilização do ROI na agricultura como fonte de nutrientes, deve-se programar aplicações antecipadas a semeadura da cultura de interesse, para que esta não seja prejudicada com a indisponibilidade do N na fase inicial e para reduzir problemas por perdas de N através da percolação de nitrato e/ou desnitrificação após os 40 dias iniciais.

No acúmulo de  $\text{N-NO}_3^-$  após os 120 dias (Figura 2.11) apresentou um comportamento correspondente ao aumento das doses de ROI, onde as maiores concentrações de ROI obtiveram maior taxa de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$ . Dados semelhantes foram reportados por Li et al. (2007), esses autores observaram que doses crescentes de N, até  $800 \text{ kg ha}^{-1}$ , refletiram em crescentes mineralizações no teor de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo após 3 anos de rotação de culturas com adição de resíduo orgânico foi de aproximadamente 10% ao dia.



**Figura 2.11** Conteúdo de nitrato acumulado em solo após 120 dias de incubação com aplicação de doses crescentes de ROI segundo ordem de crescente de pontos: 0, 0,5, 1, 2, 4 e  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Na maior dose de ROI ( $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a taxa de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  após o período de 120 dias de incubação foi 2,3 vezes superior as demais doses utilizadas, o que possibilita a análise do potencial de mineralização e nitrificação de  $\text{N-NO}_3^-$  com o uso de ROI e fornece uma ferramenta suporte para tomada de decisão sobre a aplicação.

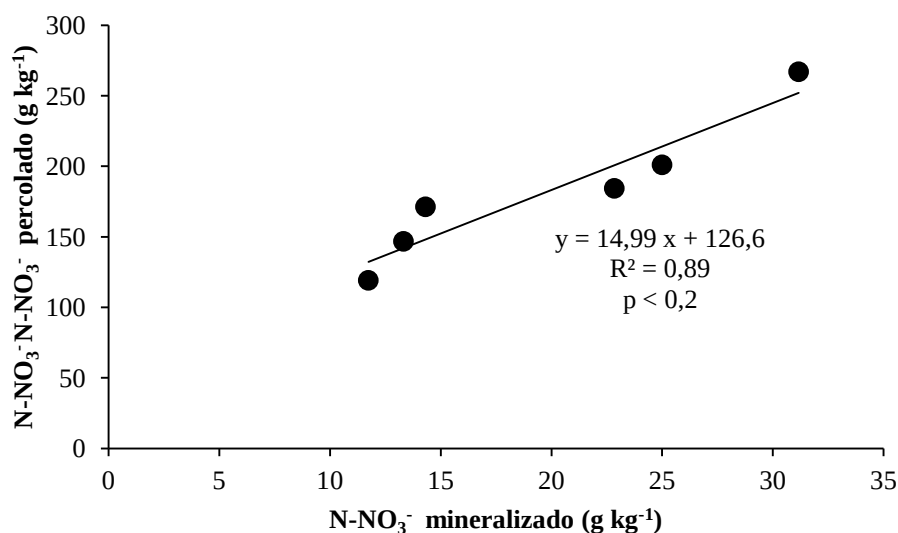
Como no processo de incubação realizado teve como principal fonte N para o solo o ROI, os valores obtidos de  $\text{N-NO}_3^-$  se devem a aplicação do mesmo, e aos processos de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$ . Para a utilização do ROI como suprimento de N é necessário o uso de estratégias para complementar as necessidades das plantas e evitar a oferta de nitrato em quantidades excessivas que possam vir a ser perdidas por percolação. De acordo com



AMADO et al. (2000) é imprescindível que haja recomendações básicas para otimizar a utilização da adubação nitrogenada, e entre elas, a estimativa de mineralização do  $\text{N-NO}_3^-$  no solo e conhecimento do requerimento de N pela cultura econômica, para atingir o rendimento projetado são conhecimentos básicos para uma política de agricultura sustentável.

Nas doses 0,5; 1 e 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de ROI a quantidade de nitrato mineralizado foi equivalente a quantidade total de N aplicado via resíduo para cada tratamento. No entanto para as dosagens 4 e 8  $\text{Mg ha}^{-1}$  de ROI a mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  foi de 17,2% e 21,5%, respectivamente, inferiores ao N adicionado via ROI (Figura 2.11) o que evidencia que o tempo de estudo utilizado no experimento não foi o suficiente para completo processo de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  para estas dosagens.

A relação da percolação e mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  acumulada aos 120 dias com colunas de solo deformado sob doses crescentes de ROI (Figura 2.12) o resultado foi significativo ( $p < 0,1$ ); sendo assim, as maiores taxas de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo resultaram nas maiores percolações, o que confirma a alta mobilidade de  $\text{N-NO}_3^-$  em solos de textura média.



**Figura 2.12** Comparação entre mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  e percolação de nitrato em solo deformado acumuladas aos 120 dias de experimento com dose crescente de resíduo de abatedouro ROI adicionado.

Souza e Melo, (2000) compara o solo em plantio convencional (PC) com o solo em plantio direto (SPD) e evidencia que no SPD o N é potencialmente mineralizável, podendo ocorrer maior quantidade na camada superficial e em geral com uma taxa de liberação mais lenta. Como demonstrado (Figura 2.12) as taxas de mineralização acompanham a percolação,

desta forma adições frequentes de ROI em solo sem revolvimento tendem a um tempo maior para manutenção das taxas de mineralização de  $\text{N-NO}_3^-$  elevadas, resultando em menores percolações, o contrário é notado no solo revolvido. Portanto, concluí-se que deve haver cuidado com as doses aplicadas e com o sistema de manejo utilizado a fim de evitar perdas de  $\text{N-NO}_3^-$ . No entanto a presença de plantas (mais ou menos consumidoras de N) no sistema minimiza a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$  em solução e consequentemente suas perdas.

## 2.6 CONCLUSÃO

Os resíduos orgânicos industriais atuaram como uma fonte de nitrato. O uso de resíduos orgânicos necessita um período de pelo menos 2 meses após a sua adição e antes do plantio para garantir que a fase de imobilização microbiana terminou.

As doses inferiores a  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de ROI não implicam em riscos ambientais, conforme as quantidades de nitratos percolados nas colunas e representam uma baixa porcentagem em relação ao nitrogênio total adicionado. A mineralização do N constatou que as quantidades mais elevadas de nitrato é mantida na superfície do solo. A taxa de percolação de  $\text{N-NO}_3^-$  foi diretamente proporcional às doses de ROI aplicadas ao solo, e quanto maior a quantidade de N aplicado maior foi  $\text{N-NO}_3^-$  percolado.

## 2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADDISCOTT, T. M.; WHITMORE, A.P. & POWLSON, D. S. Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. CAB International, Wallingford, 1991.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. **Nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola**. Simpósio sobre Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, Piracicaba, SP, 2007.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de suprimento de nitrogênio ao milho em sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p.179-189, 2000.

APPEL T. AND MENGEL K. Importance of organic nitrogen fractions in sandy soils, obtained by electro-ultra filtration or  $\text{CaCl}_2$  extraction for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. **Biology Fertility**, v. 10, p. 97 -101, 1990.

ARAUJO, P. S.; GOEDERT, J. W.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1099-1108, 2007.

BAGGS, E. M., STEVENSON, M., PIHLATIE, M., REGAR, A., COOK, H., & CADISCH, G. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, v. 254, n. 2, p. 361-370, 2003.

BAGGS, E. M.; CHEBII, J.; NDUFA, J. K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil & Tillage Research**, v. 90, n. 1-2, p. 69- 76, 2006.

BAGGS, E.M., BLUM, H.  $\text{CH}_4$  oxidation and emissions of  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  from *Lolium perenne* swards under elevated atmospheric  $\text{CO}_2$ . **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 713–723, 2004.

BALL, B.C., SCOTT, A., PARKER, J.P., Field  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  fluxes in relation to tillage compaction and soil quality in Scotland. *Soil and Tillage Research* v. 53, p. 29–39, 1999.

BARKER, A. V. **Composition and uses of compost**. In: **Agricultural Uses of By-Products and Wastes** (Rechling J E, Mackinnon H C, eds.). ACS symposium series American Chemical Society, Washington DC, v. 10, n. 668, p. 140–162, 1997.

BELLAMY, K. L.; CHONG, C. & CLINE, R. A. Paper sludge utilization in agriculture and container nursery culture. **Journal Environmental Quality**, v. 24, p. 1074-1082, 1995.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. Macmillan Publishing Company, Inc. p. 291-295. 1990

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2011.

BRELAND, T. A., HANSEN, S. Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. **Soil Biology Biochemistry**, v. 28, p. 655–663, 1996.

CABRERA, M. L.; KISSEL, D. E.; VIGIL, M. F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 75–79, 2005.

CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em Latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, p. 715-725, 2013.

CHEN, L. X.; XIAO Y. Evolution and evaluation of soil fertility in forest land in *Larix gmelinii* plantations at different development stages in Daxinganling forest region. **Science Soil Water Conservation**, v. 4, p.50–55, 2006.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 3, p. 345-353, 2001.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, v. 2, 2006.

ESSE, P.C.; BUERKERT, A.; HIERNAUX, P.; ASSA, A. Decomposition of and nutrient release from ruminant manure on acid sandy soils in the Sahelian zone of Niger, West Africa. **Agriculture Ecosystems Environmental**, v. 83, p. 55-63, 2001.

GILMOUR, J. T.; SKINNER, V. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 1122–1126, 1999.

GIUSQUIANI, P. L.; PAGLIAI, M.; GIGLIOTTI, G.; BUSINELLI, D.; BENETTI, A. Urban waste compost: effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, n. 1, p. 175-182, 1995.

HARRISON-KIRK, T., BEARE, M. H., MEENKEN, E. D., & CONDRON, L. M. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Changes in soil organic matter fractions and relationships with C and N mineralisation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 74, p. 50-60, 2014.

HUE, N.V.; IKAWA, H. & SILVA, J. A. Increasing plant-available phosphorus in an Ultisol with a yard waste compost . **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p. 3291-3303, 1994.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, (IAPAR). **Cartas climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=856>>. Acesso em: 27 jan. 2013.

JANSSON, S. L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Nitrogen in Agricultural Soils (F.J. Stevenson, Ed.), **American Society Agronomy**, p. 229-252, 1982.

LI, Xiaoxin et al. Increased nitrogen use efficiencies as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain. **Agricultural Water Management**, v. 89, n. 1-2, p. 137-147, 2007.

LINDAHL, A. M. L. & BOCKSTALLER, C. An indicator of pesticide leaching risk to groundwater. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 95-108, 2012.

MADEJÓN, E. , BURGOS, P. LÓPEZ, R. & CABRERA, F. Agricultural use of three organic residues: effect on orange production and on properties of a soil of the Comarca “Costa de Huelva” (SW Spain) . **Nutrient Cycling and Agroecosystems**, v. 65, p. 281-288, 2003.

MADEJÓN, E. **Aprovechamiento agronómico de composts de vinaza: efectos en suelos, cultivos y aguas de drenaje**. Tese de doutorado, University of Sevilla, 1996.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R. da, NEVES, J. C. L. e SILVA, L. de O. G. Decomposição de Resíduos de Culturas e Mineralização de Nutrientes em Solo com Diferentes Texturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 39, p. 1681-1689, 2015.

MATHIEU, O.; LÉVÊQUE, J.; HÉNAULT, C.; MILLOX, M. J.; BIZOUARD, F.; ANDREUX, F. Emission and spatial variability of N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> and nitrous oxide mole fraction at the field scale, revealed with 15N isotopic techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 941-951, 2006.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Secretaria de Política Agrícola. PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO, Ed 8, p. 125, 2017.

MONTEIRO, H. C. F.; CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A. J. & FONSECA, D. M. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 31, p.1092-1102, 2002.

PALM, C. A; GILLER, K. E; MAFONGOYA, P. L.; SWIFT, M. J. Management of organic in the tropics: Translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v.61, p.63-75, 2001.

QI, R., LI, J., LIN, Z., LI, Z., LI, Y., YANG, X., ... & ZHAO, B. Temperature effects on soil organic carbon, soil labile organic carbon fractions, and soil enzyme activities under long-term fertilization regimes. **Applied soil ecology**, v. 102, p. 36-45, 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

ROMANIW, J. **Impacto de resíduos orgânicos de abatedouros de aves e suínos na resposta das culturas e nos compartimentos do carbono e nitrogênio do solo em sistema plantio direto**. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

SARTOR, L. R., ASSMANN, A. L., ASSMANN, T. S., BIGOLIN, P. E., MIYAZAWA, M., & CARVALHO, P. C. D. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 661-669, 2012.

SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L.; UNGER, P. W. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 2, p. 372-381, 1994.

SCOTT, N.A., COLE, C.V.; ELLIOTT, E. T.; HUFFMAN, S. A. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 4, p. 1102-1109, 1996.

SILVA, F.D.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L.F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A.; MOURA, B. F. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**. Embrapa milho e sorgo, Sete Lagoas, MG, 2010.

SIMS, J. T. Organic wastes as alternative N sources. in P. E. Bacon, ed. Nitrogen fertilization in the environment. Marcel Dekker, NY, p. 487-535, 1995.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; ARAÚJO, G. T.; SOUTO, L. S. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semiárido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 125-130, 2005.



SOUZA, W. J .O. & MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 24, p. 885-896, 2000.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego, Academic Press, 1995. 267p.

STENGER, R.; PRIESSAK, E.; BEESE, F. Rates of net nitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils. **Plant & Soil**, v. 171, p. 323 – 332, 1995.

STOPES, C.; LORD, E. I. , PHILIPPS, L. & WOODWARD, L. Nitrate leaching from organic farms and conventional farms following best practice . **Soil Use and Management**, v. 18, p. 256-263, 2002.

TAN, C. S.; DRURY, C. F.; REYNOLDS, W. D.; GROENEVELT, P. H. & DADFAR, H. Water and nitrate loss through tiles under a clay loam soil in Ontario after 42 years of consistent fertilization and crop rotation . **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 93, n.1-3, p. 121-130, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, (UFRGS. Boletim Técnico, 5). 118p., 1995.

VANEGA CHACÓN, E.A.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, R.R.; LIMA, P.C.; SILVA, I.R. & CANTARUTTI, R.B. Decomposição de fontes orgânicas e mineralização de formas de nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, v. 58, p. 373-383, 2011.

### **CAPITULO 3. IMPACTO DO USO DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS NA ADUBAÇÃO DE CULTURAS EM AGRICULTURA DE CONSERVAÇÃO SOBRE ARMAZENAMENTO DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO**

#### **3.1 RESUMO**

O Brasil é um dos principais produtores de aves e suínos do mundo. Este processo gera uma grande quantidade de resíduos que normalmente são descartados na natureza. Pouco se sabe sobre o potencial deste material como fonte de fertilização na agricultura. A hipótese é que o uso de adubo orgânico industrial (ROI) promove o incremento do armazenamento de carbono, melhora as propriedades físicas do solo e a produtividade das culturas. Portanto, o objetivo deste estudo foi testar a eficiência do ROI representado pelos resíduos orgânicos industriais do processo de abate de aves e suínos como fonte de fertilização, isoladamente ou em combinação com fertilizantes minerais industriais. Avaliou-se seu potencial em aumentar os reservatórios de carbono orgânico, atributos físicos (densidade, porosidade e retenção de água) e a relação entre essas duas variáveis. O experimento de campo foi instalado em 2009 em um solo com 21 anos em sistema de plantio direto no sul do Brasil. Os tratamentos foram os seguintes: 1) Controle (sem fertilizante mineral e orgânico); 2) fertilizante mineral industrial; 3) ROI; 4) fertilizante misturado (misto 50% mineral e 50% ROI). Ambas as formas de adubação mineral e orgânica proporcionaram aumentos nos agrupamentos de carbono orgânico total (COS) da biomassa e atributos físicos do solo, com os maiores valores observados para os tratamentos com ROI e suas misturas com FMI. A análise multivariada indicou alta correlação entre o aumento do COS lábil e a melhora das condições físicas do solo. Os maiores níveis de produtividade da cultura foram observados para os tratamentos com fertilizantes minerais e mistos. Neste trabalho houve evidencia de que a mistura dessas fertilizações orgânicas e minerais é uma técnica eficiente para extrair os melhores benefícios de cada fonte. Concluí-se que os resíduos de aves do processo de abate são uma estratégia de fertilização adequada, proporcionando melhoria do solo e aumentando a produtividade das culturas.

Palavras-chave: Estoque SOC, carbono lábil, densidade do solo, porosidade do solo, capacidade de retenção de água.

## **IMPACT OF SLAUGHTERHOUSE WASTE USE FOR CROP FERTILIZATION IN CONSERVATION AGRICULTURE ON CARBON STORAGE AND SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES**

### **3.2 ABSTRACT**

Brazil is one of the main poultry and swine producers in the world. This process generates a high amount of waste that is normally discarded in nature. Little is known about the potential of this material as a fertilization source in agriculture. We hypothesized that the use of bio fertilizer can promote the increment of carbon storage, improve soil physical properties, and crop productivity. Therefore, the objective of this study was to test the efficiency of bio fertilizer represented by industrial organic waste from poultry slaughterhouse process as a fertilization source alone or in combination with industrial mineral fertilizer. We have evaluated their potential in increasing soil organic carbon pools, physical attributes (e.g. porosity and water retention) and the relationship between these two variables. The field experiment was installed in 2009 in a soil under 21 years in no-till system in southern Brazil. The treatments were as follow: 1) Control (no mineral and organic fertilizer); 2) industrial mineral fertilizer; 3) bio fertilizer; 4) mixed fertilizer (i.e. 50% mineral and 50% bio fertilizer). Both forms of fertilization mineral and organic provided increases in labile SOC pools and physical attributes (e.g. total porosity and water retention), with the highest values observed for the bio and mixed fertilizer treatments. Multivariate analysis indicated a high correlation between the increases of labile SOC with the improvement of soil physical conditions. The highest crop productivity levels were observed for the mineral and mixed fertilizer treatments. Here we demonstrate first evidences that the mixing of these organic and mineral fertilizations can be an efficient technique to extract the best benefits of each source. We conclude that poultry waste from the slaughterhouse process consist in a suitable fertilization strategy, providing soil amelioration and increasing crop productivity.

Key-words: SOC stock, labile carbon, soil density, soil porosity, water hold capacity.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos mais importantes produtores de aves do mundo, e a geração de resíduos orgânicos industriais tem sido considerada um dos maiores problemas deste negócio. Segundo a FAO (2016), cerca de 545 milhões de toneladas de resíduos orgânicos industriais não são destinados a qualquer finalidade no país. No entanto, esses resíduos foram reconhecidos por seu alto potencial como fertilizante agrícola (ROMANIW et al. 2015). Esses materiais alternativos apresentam alta concentração de nutrientes e baixo teor de metais pesados (GIROTTTO et al. 2015; ALVARENGA et al. 2017).

Solos altamente intemperizados estão presentes em aproximadamente 300 milhões de hectares no Brasil (Embrapa, 2013). Em geral, solos explorados pela agricultura naturalmente são pobres em matéria orgânica, devido às altas temperaturas e níveis de precipitação, exigindo altos insumos de biomassa e taxas de fertilização (SÁ e LAL, 2009). Portanto, o uso de fertilização mineral tem sido as principais práticas para elevar o rendimento das culturas (STEINER et al. 2007; DRECHSEL et al. 2015; INAGAKI et al. 2016). No entanto, os fertilizantes minerais fazem uso de recursos não renováveis e exigem alta energia para serem produzidos, resultando em impactos negativos para o meio ambiente. Além disso, o uso excessivo de fertilização mineral tem despertado várias preocupações na comunidade científica, como o acúmulo excessivo de sal e nitrato (JU et al. 2007); eutrofização das águas (PIERZYNSKI 1991); e acidificação do solo (HAN et al. 2017).

O uso de resíduos orgânicos industriais como fertilizante biológico na agricultura aliado as práticas de conservação como o sistema de plantio direto já foi creditado por fornecer incremento de reservatórios de carbono orgânico no solo (SOC) e produtividade de culturas (ROMANIW et al. 2015). Vários estudos têm focado em seus efeitos sobre os atributos de fertilidade do solo (DUNJANA et al. 2012; ZWETSLOOT et al. 2015; THOMAS et al. 2017). Da mesma forma, os efeitos do resíduo orgânico nas propriedades físicas do solo foram avaliados por diferentes autores (LIM et al. 2015; ZHOU et al. 2013).

No entanto, ainda faltam estudos avaliando como os fertilizantes orgânicos funcionam em combinação com a fertilização mineral convencional. Além disso, os efeitos dos resíduos dos abatedouros de aves na qualidade do solo e os possíveis serviços ambientais ainda são desconhecidos. A hipótese é que o uso de ROI incrementa o armazenamento de carbono, melhora as propriedades físicas do solo e a produtividade das culturas. Portanto, os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar o efeito da aplicação de resíduos orgânicos industriais como fertilizantes biológicos e fertilizantes minerais industriais, isolados ou em combinação, nos

reservatórios de carbono orgânico do solo, propriedades estruturais físicas do solo, retenção de água e produtividade das culturas; e 2) avaliar o nível de afinidade entre os reservatórios COS lábil e as propriedades físicas do solo utilizando correlação multivariada.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Descrição da área

O experimento foi desenvolvido na estação experimental da Fazenda Escola Capão da Onça, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no sul do Brasil. Dados climáticos, pluviométricos, classificação do solo, dados de fertilidade e histórico da área estão descritos nas páginas 25e 26 do Capítulo 1.

#### 3.4.2 Projeto Experimental

O experimento foi estabelecido em novembro de 2009, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas com três repetições (vide cap. 1, pg 26). As medições de cada parcela foram de 40 m<sup>2</sup> (8 x 5 m). Nesse estudo foram selecionados os seguintes tratamentos: 1) controle, sem adição de fertilizante mineral industrial e resíduos orgânicos industriais; 2) fertilizante mineral industrial (FMI 100) atendendo 100% das exigências nutricionais das culturas; 3) resíduos orgânicos industriais (ROI 100) atendendo 100% das exigências nutricionais das culturas; e 4) Mistura de 50% com FMI + 50% ROI (FMI 50 + ROI 50).

A obtenção do ROI e sua composição foram descritas no capítulo 1, pagina 28, e os detalhes sobre a especificação do ROI foram reportados por Romaniw et al., (2015).

A quantidade de nutrientes 100% aplicados via ROI e adubação mineral nas lavouras está descrita na Tabela 3.1. A sequencia de culturas no período de 2009 a 2014 está descrita na Tabela 3.2. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com recomendações agronômicas para cada cultura. Todas as práticas de controle foram iguais para todos os tratamentos.

**Tabela 3.1** Taxa de NPK aplicado por tratamento com 100% de fertilizante mineral industrial (FMI) e por resíduos orgânicos industriais (ROI).

| Ano                             | Estação | Sequência culturas | Total de fertilizantes aplicados |     |     |      |     |     |
|---------------------------------|---------|--------------------|----------------------------------|-----|-----|------|-----|-----|
|                                 |         |                    | FMI                              |     |     | ROI  |     |     |
|                                 |         |                    | N                                | P   | K   | N    | P   | K   |
| ----- Kg ha <sup>-1</sup> ----- |         |                    |                                  |     |     |      |     |     |
| 2009/10                         | Verão   | Feijão preto       | 60                               | 26  | 25  | 94   | 21  | 19  |
|                                 | Inverno | Trigo              | 75                               | 22  | 42  | 94   | 21  | 19  |
| 2010/11                         | Verão   | Soja               | 6.0                              | 26  | 50  | 94   | 21  | 19  |
|                                 | Inverno | Aveia              | 21                               | 22  | 15  | 94   | 21  | 19  |
| 2011/12                         | Verão   | Milho              | 138                              | 37  | 21  | 94   | 21  | 19  |
|                                 | Inverno | Trigo              | 72                               | 39  | 51  | 94   | 21  | 19  |
| 2012/13                         | Verão   | Soja               | 6,0                              | 26  | 17  | 94   | 21  | 19  |
|                                 | Inverno | Aveia              | 20                               | 17  | 33  | 94   | 21  | 19  |
| 2013/14                         | Verão   | Milho              | 60                               | 35  | 38  | 94   | 21  | 19  |
|                                 | Inverno | Trigo              | 72                               | 44  | 17  | 94   | 21  | 19  |
| 2014/15                         | Verão   | Feijão Preto       | 85                               | 26  | 33  | 94   | 21  | 19  |
| Total                           |         |                    | 662                              | 320 | 370 | 1038 | 231 | 209 |

FMI: 100% Fertilizante mineral industrial; ROI: 100% Resíduo orgânico industrial;

**Tabela 3.2** Biomassa de C via resíduos de culturas e dos resíduos orgânicos industriais para cada tratamento durante o período experimental.

| Ano                    | Estação | Sequência Culturas | Tipo da entrada de C | Tratamentos                     |      |      |                 |
|------------------------|---------|--------------------|----------------------|---------------------------------|------|------|-----------------|
|                        |         |                    |                      | Controle                        | FMI  | ROI  | ROI 50 + FMI 50 |
|                        |         |                    |                      | ----- Mg ha <sup>-1</sup> ----- |      |      |                 |
| 2009/10                | Verão   | Feijão preto       | BI*                  | 2,62                            | 2,71 | 3,09 | 3,22            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
|                        | Inverno | Trigo              | BI                   | 0,73                            | 1,30 | 1,22 | 1,16            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| 2010/11                | Verão   | Soja               | BI                   | 2,30                            | 2,74 | 2,55 | 2,72            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
|                        | Inverno | Aveia              | BI                   | 2,11                            | 5,52 | 4,77 | 5,45            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| 2011/12                | Verão   | Milho              | BI                   | 9,46                            | 16,5 | 13,4 | 13,7            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
|                        | Inverno | Trigo              | BI                   | 3,70                            | 3,93 | 3,97 | 4,45            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| 2012/13                | Verão   | Soja               | BI                   | 2,63                            | 2,99 | 3,21 | 3,07            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
|                        | Inverno | Aveia              | BI                   | 1,66                            | 2,70 | 3,05 | 2,54            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| 2013/14                | Verão   | Milho              | BI                   | 10,7                            | 15,1 | 14,4 | 13,2            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
|                        | Inverno | Trigo              | BI                   | 1,29                            | 2,32 | 1,75 | 2,33            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| 2014/15                | Verão   | Feijão Preto       | BI                   | 1,83                            | 2,59 | 1,99 | 2,54            |
|                        |         |                    | ROI                  | 0,00                            | 0,00 | 0,76 | 0,38            |
| Total de entradas de C |         |                    |                      | 39,0                            | 58,4 | 61,8 | 58,6            |

\* BI = Biomassa vegetal aérea e de raízes; ROI = Resíduo orgânico industrial; FMI = Fertilizante mineral industrial. Controle: sem fertilizantes; FMI = 100% Fertilizante mineral industrial; ROI = 100% Resíduo orgânico industrial; ROI 50 + FMI 50= 50% de FMI + 50 % ROI.

### 3.4.3 Amostragem de solo

Em janeiro de 2015 foram coletadas amostras não perturbadas em anéis de aço volumétricos de 5x5 cm nas camadas de 0-10 e 10-20 cm com um amostrador de Uhland para medir os atributos físicos do solo. Amostras perturbadas também foram coletadas para medir a textura e a fertilidade do solo.

### 3.4.4 Análises laboratoriais

#### 3.4.4.1. Atributos estruturais físicos

A densidade do solo (BD) foi medida pelo método do anel volumétrico, após a medição das curvas de retenção de água no solo e secagem das amostras a 105°C por 72h. A densidade das partículas foi medida usando o Pycnometer MVP-D160 (Quantachrome



Instruments®). Em seguida, analisou-se a porosidade total considerando a relação entre o solo e a densidade de partículas. A microporosidade foi obtida considerando-se o potencial matricial de -6 kPa e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (DANE et al., 2002).

#### 3.4.4.2. *Retenção de água no solo*

As amostras não perturbadas em anéis volumétricos foram saturadas por ascensão capilar e submetidas aos potenciais máximos ( $\Psi_m$ ) de -2, -4, -6, -8 e -10 kPa em uma mesa de tensão (modelo M1-0801, Eijkelkamp®) e -30, -50, -70, -100, -400 e -700 kPa na câmara de Richards (modelo 1500, Soil Moisture Equip. Corp.®). Após um balanço termodinâmico, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 72h para a determinação do teor gravimétrico de água (U). Em seguida, calculou-se o teor volumétrico de água do solo ( $\theta$ ) para cada  $\mu m$  aplicado, a partir da razão entre o DB e a U.

As curvas de retenção de água foram ajustadas pelo modelo matemático de Van Genuchten (1980), com a restrição de Mualem (1976). Para o ajuste, utilizou-se os dados de  $\theta$  em todas as réplicas. Todos os parâmetros da equação foram determinados pelo software SWRC Fit (SEKI 2007).

#### 3.4.4.3. *Textura do solo e carbono orgânico*

As amostras deformadas foram secas em forno a 40 °C até peso constante e passaram por uma peneira de 2 mm. Determinou-se a textura do solo pelo método de pipeta usando 1 M NaOH como dispersante químico (DANE et al., 2002). O teor total de carbono orgânico (COS) foi determinado por combustão a seco usando um analisador CN (TruSpec CN, LECO®). As seguintes frações de C lábeis também foram medidas: carbono orgânico extraível com permanganato (CPOX) (TIROL-PADRE and LADHA 2004) e carbono orgânico extraível com água quente (HWEOC) (GHANI et al., 2003).

#### 3.4.5 *Análise estatística*

Os tratamentos foram avaliados em ambas as camadas por análise de variância (ANOVA) em arranjo de parcelas subdivididas com três repetições. A normalidade dos dados e a homocedasticidade foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Quando necessário, aplicou-se o poder ótimo da Box-Cox para a transformação de dados. Quando os pressupostos foram atendidos, o teste F foi realizado. Para a comparação das médias, aplicou-se o teste de Tukey em  $p < 0,05$ .

Para melhor compreensão dos efeitos de todos os tratamentos na estrutura do solo, retenção de água e carbono orgânico do solo, os dados foram padronizados (média zero, variância 1) e submetidos à análise estatística multivariada. Aplicou-se análise de função discriminante (AFD) e análise de componentes principais (ACP). Todos os pressupostos de normalidade dos resíduos e dados homocedásticos foram atendidos para a análise multivariada.

O AFD foi inicialmente realizado a partir das matrizes de correlações das variáveis padrão. O AFD foi inicialmente realizado considerando cada tratamento como um grupo discriminante. Foi utilizado como critério para seleção do número de funções discriminantes e componentes principais a proporção da variância acumulada ( $\geq 70\%$ ) das variáveis geradas. A análise estatística foi realizada por meio do Software R (R Development Core Team, 2016).

Das CRAs, os dados ajustados foram obtidos os valores de diferença relativa (DR, % = Eq. 1, entre os valores de  $\theta$  e os diferentes  $\Psi_m$ .)

% = Eq. 1, entre os valores de  $\theta$  e os diferentes  $\Psi_m$ .

$$DR = \frac{\theta_{\text{controle}} - \theta_{\text{FMI 100}}}{\theta_{\text{controle}}} \times 100 \quad (1)$$

Em que  $\theta$  controle e  $\theta$  IMF 100 são os teores de água nos tratamentos Controle e FMI 100, por exemplo.

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 Produtividade das culturas e reservatórios de COS afetados pelos tratamentos de fertilização

O uso de resíduo orgânico industrial (ROI) isolado ou em combinação com adubação mineral teve desempenho semelhante e promoveu aumento de 44% na produção de grãos em comparação com o tratamento controle (Figura 3.1). Além disso, observamos aumentos significativos em todos os reservatórios de COS em resposta à aplicação de fertilizantes minerais industriais (FMI) ou resíduos orgânicos industriais (ROI), isolados ou em combinação (Tabela 3.3). O COS total, o COS oxidado com permanganato e o COS extraível com água quente foram significativamente aumentados em todos os tratamentos de fertilização nas camadas de 0-10 e 10-20 cm quando comparados com as parcelas de controle (Tabela 3.3).

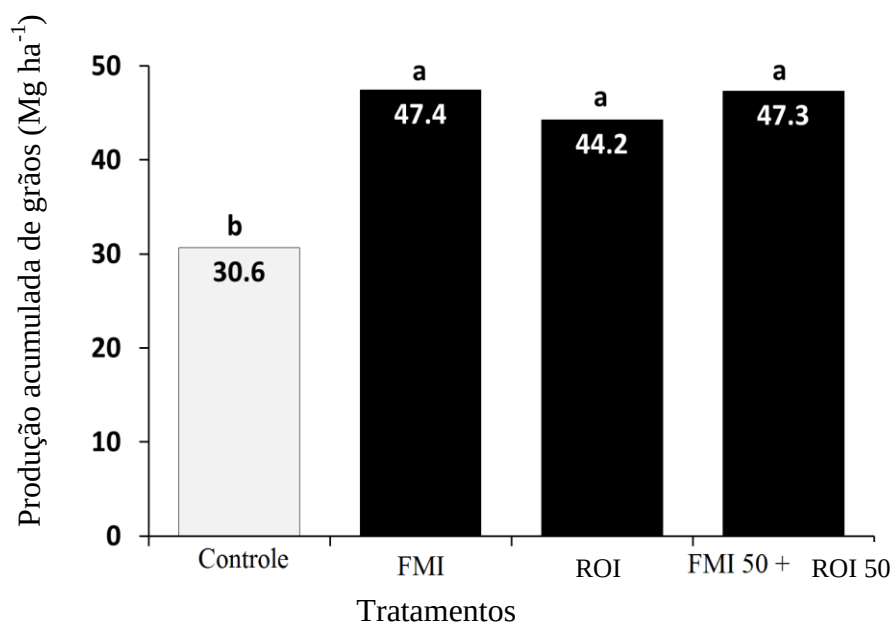


Figura 3.1 Produtividade acumulada de grãos para cada tratamento entre 2009 e 2015.

**Tabela 3.3** Carbono orgânico total do solo (COS), COS extraído por água quente e COS oxidado por permanganato afetado pela aplicação de fertilizante mineral industrial e resíduo orgânico de abatedouro nas profundidade de 0-10 e 10-20 cm.

| Pools de C                     | Profundidade | Tratamentos |         |         |                 |
|--------------------------------|--------------|-------------|---------|---------|-----------------|
|                                |              | Controle    | FMI     | ROI     | ROI 50 + FMI 50 |
| ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |              |             |         |         |                 |
| COS Total                      | 0-10         | 14,1b       | 18,85 a | 19,18 a | 19,75 a         |
|                                | 10-20        | 9,93b       | 13,38 a | 13,46 a | 13,61 a         |
| COS PER <sup>b</sup>           | 0-10         | 0,84 c      | 2,61 b  | 2,97 a  | 2,51 b          |
|                                | 10-20        | 0,16ab      | 0,13 b  | 0,23 a  | 0,23 a          |
| COS AQ <sup>a</sup>            | 0-10         | 0,18 c      | 0,34 a  | 0,32 a  | 0,24 b          |
|                                | 10-20        | 0,33 b      | 0,49 b  | 1,11 a  | 1,01 a          |

a- COS AQ = extraído por água quente; b- COS PER= oxidado por permanganato. Controle: sem fertilizantes; FMI = 100% fertilizante mineral industrial; ROI = 100% de resíduos orgânicos industriais de abatedouros; ROI 50 + FMI 50 = 50% de Mineral + 50% de ROI. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferiram entre si quanto aos fertilizantes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A variação do COS instável em água quente e do COS oxidável com permanganato também influenciou os ganhos do COS total. O teor de COS oxidável por permanganato em cada tratamento apresentou a seguinte ordem na camada de 0-10 cm: ROI > FMI > ROI + FMI > Controle. O COS extraível com água quente apresentou as maiores diferenças entre os tratamentos e apresentou a seguinte ordem nas camadas de 0-10 cm: ROI = FMI > ROI + FMI > Controle (Tabela 3.3). Para o teor total de COS no solo, todos os métodos de fertilização foram significativamente maiores que o controle e não apresentaram diferenças significativas entre si.

### 3.5.2 Estrutura do solo

Foram verificados os efeitos isolados do adubo mineral e dos resíduos orgânicos industriais sobre a macroporosidade na camada de 0-10 cm, enquanto para microporosidade este efeito foi mais evidente na camada de 10-20 cm. A densidade do solo foi reduzida pela aplicação superficial do tratamento com ROI nas duas camadas 0-10 e 10-20 cm. Por outro lado, o tratamento com FMI promoveu o aumento da densidade do solo (Tabela 3.4). Nenhum efeito da mistura de ROI + FMI foi observado.

**Tabela 3.4** Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade nas camadas de 0-10 e 10-20 cm em resposta a diferentes tratamentos de fertilização.

| Atributos                                        | Profundidade | Tratamentos |         |        |                 |
|--------------------------------------------------|--------------|-------------|---------|--------|-----------------|
|                                                  | Cm           | Controle    | FMI     | ROI    | ROI 50 + FMI 50 |
| Densidade, Mg m <sup>-3</sup>                    | 0-10         | 1,41 ab     | 1,47 a  | 1,34 b | 1,35 b          |
|                                                  | 10-20        | 1,48 ab     | 1,50 a  | 1,36 b | 1,36 b          |
| Porosidade total, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | 0-10         | 0,44 ab     | 0,41 b  | 0,46 a | 0,46 a          |
|                                                  | 10-20        | 0,42 b      | 0,41 b  | 0,46 a | 0,46 a          |
| Macro porosidade, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | 0-10         | 0,09 ab     | 0,12 a  | 0,05 b | 0,14 a          |
|                                                  | 10-20        | 0,15 a      | 0,14 ab | 0,07 c | 0,11 bc         |
| Micro porosidade, m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> | 0-10         | 0,32 b      | 0,29 b  | 0,45 a | 0,30 b          |
|                                                  | 10-20        | 0,27 b      | 0,26 b  | 0,39 a | 0,29 b          |

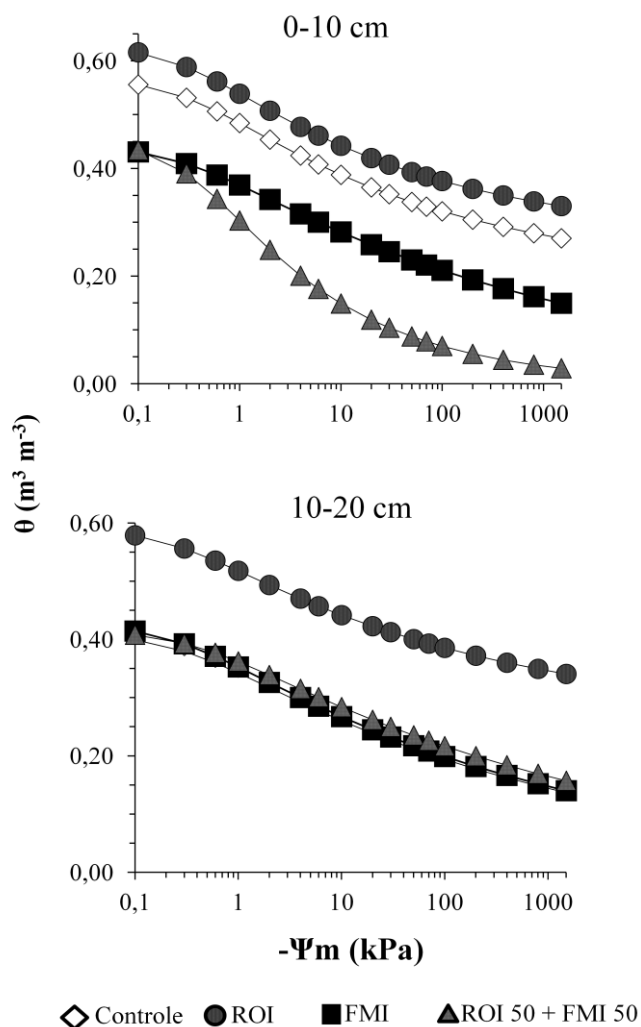
Controle: sem fertilizantes; FMI = 100% fertilizante mineral industrial; ROI = 100% de resíduos orgânicos industriais de abatedouros; ROI 50 + FMI 50 = 50% de Mineral + 50% de ROI. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferiram entre si quanto aos fertilizantes pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O aumento da densidade do solo refletiu diretamente na redução da porosidade total do solo em ambas as camadas. A macroporosidade foi mais sensível às alterações do solo, principalmente na camada superficial. Essa variável foi menor na camada de 0-10 cm no ROI em comparação aos demais tratamentos. Por outro lado, na camada de 10-20 cm, o uso de ROI e FMI gerou interações que afetaram a macroporosidade. Nessa camada, a macroporosidade observada na aplicação superficial do tratamento com ROI foi menor que nos demais tratamentos. Os maiores níveis de macroporosidade foram observados nas parcelas de controle, embora o ROI + FMI também apresente níveis elevados.

A microporosidade da camada de 0-10 cm foi aumentada apenas pelo tratamento com ROI. Na camada de 10-20 cm, o ROI também apresentou valores mais elevados que os demais tratamentos.

### 3.5.3 Retenção de água

O uso de ROI promoveu maior retenção de água nas duas camadas (Figura 3.2). Na camada de 10-20 cm, os tratamentos FMI e tratamento misto apresentaram valores semelhantes e inferiores ao do ROI.



**Figura 3.2** Curvas de retenção de água nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em função de diferentes métodos de fertilização. Controle: sem fertilizantes; FMI: 100% fertilizante mineral industrial; ROI: 100% de resíduo orgânico industrial de abatedouro; ROI 50 + FMI 50: 50% de ROI + 50% do FMI.

Em contrapartida, o tratamento com FMI reduziu a retenção de água principalmente na camada de 0-10 cm em relação ao ROI e ao tratamento ROI + FMI. Na camada de 10-20 cm, o tratamento ROI + FMI apresentou incrementos de até 15% em comparação ao FMI.

#### 3.5.4 Conteúdo de água vs estrutura do solo, textura e carbono orgânico

Na análise dos componentes principais, o primeiro e o segundo componentes representaram juntos 81% da variância experimental. O primeiro componente representou a relação oposta entre o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) e o potencial matricial ( $\Psi_m$ ) de -10, -100 e -700 kPa com os pools COS. Enquanto o segundo componente representou os valores de  $\theta$  e os teores de lodo e argila. Portanto, foram discriminados três grupos: o grupo 1 incluiu o controle, o grupo 2 o tratamento de ROI e o grupo 3 o FMI e ROI + FMI (Figura 3.3).

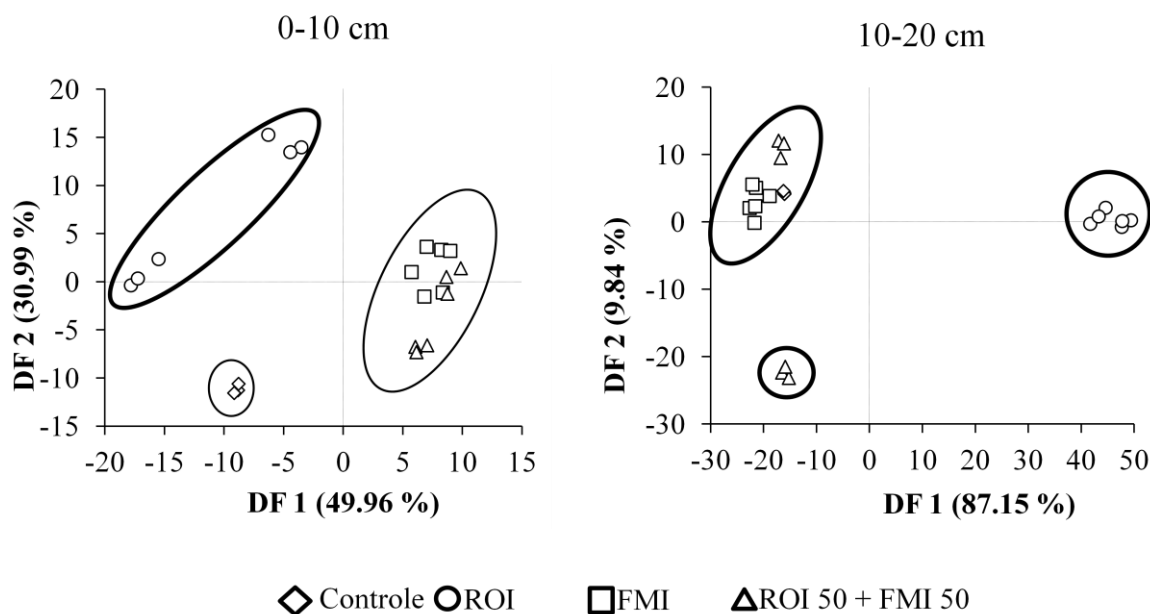
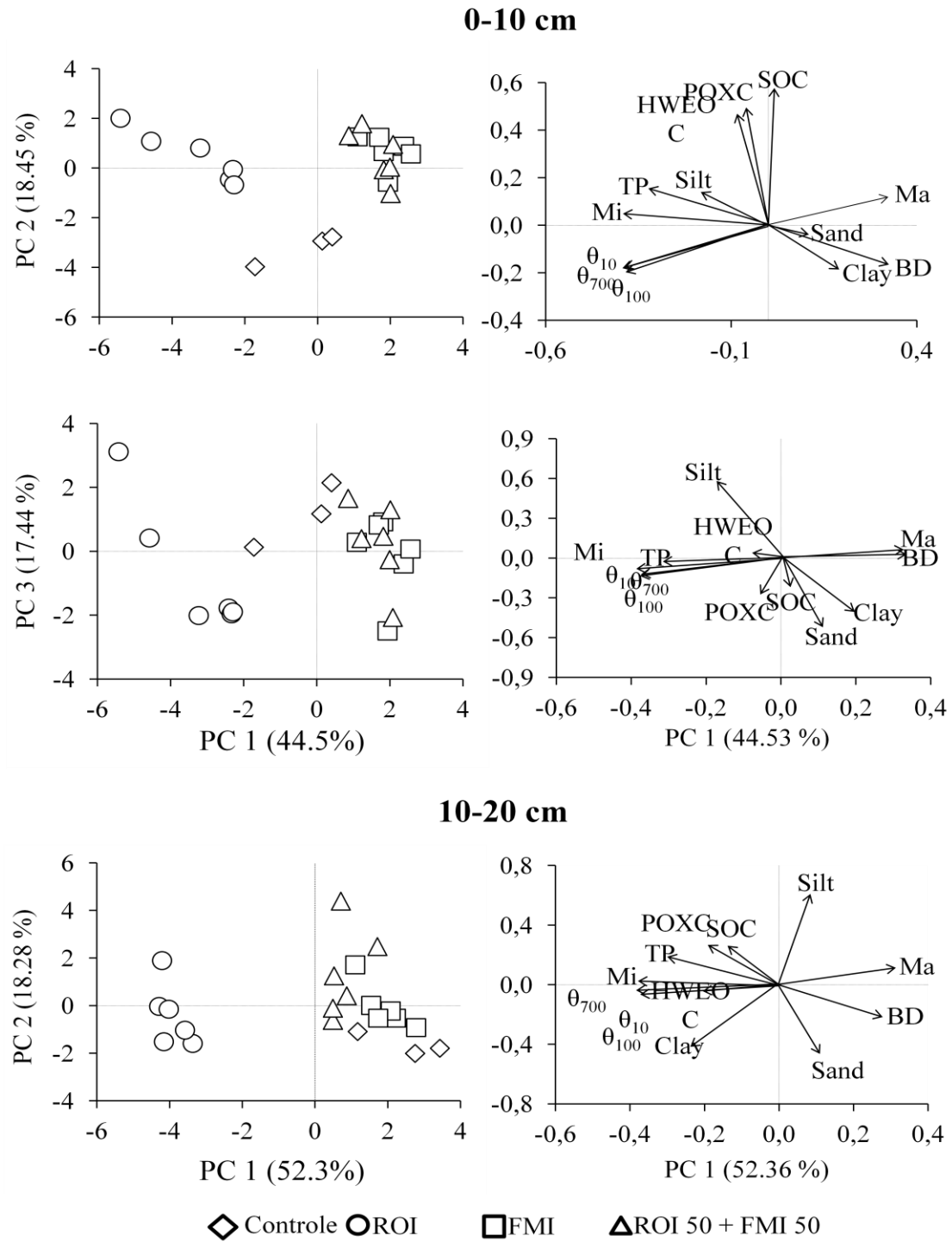


Figura 3.3 Biplots das funções discriminantes lineares (LD) considerando os atributos físicos e estruturais [densidade aparente (DB), porosidade total (TP), macro (Ma) e microporosidade (Mi)] e texturais (areia, silte e argila), a retenção de água nos potenciais máximos de -10, -100 e -700 kPa ( $\theta_{10}$ ,  $\theta_{100}$  e  $\theta_{700}$ ) e os reservatório de carbono orgânico no solo lábil [carbono orgânico total do solo (SOC), carbono orgânico extraível com água quente e carbono orgânico oxidável permanganato nas camadas de 0-10 e 10-20 em função de diferentes tratamentos de adubação.

Os três primeiros componentes principais explicaram aproximadamente 80% da variância experimental. O primeiro componente representou a relação entre a retenção de água no solo em diferentes  $\Psi_m$  e os atributos estruturais do solo. O segundo componente foi representado exclusivamente pelos reservatórios de COS instáveis, enquanto o terceiro componente foi associado à textura do solo (figura 3.4).

As correlações multivariadas indicaram os tratamentos que proporcionaram altos aumentos na porosidade total e a densidade aparente apresentou o maior  $\theta$  em  $\Psi_m$  de -10, -100 e -700 kPa (Figura 3.4). Estes resultados estão de acordo com as curvas de retenção, nas quais o tratamento ROI apresentou a maior retenção de água ao longo de todas as curvas de retenção (Figura 3.2).



**Figura 3.4** Biplots dos componentes principais (PC) considerando os atributos estruturais físicos [densidade aparente (DB), porosidade total (TP), macro (Ma) e microporosidade (Mi)] e texturais (areia, silte e argila), retenção de água nos potenciais máximos de -10, -100 e -700 kPa ( $\theta_{10}$ ,  $\theta_{100}$  e  $\theta_{700}$ ) e dos reservatórios de carbono orgânico no solo lábil [Carbono orgânico total do solo (SOC), carbono orgânico extraível com água quente (HWEOC) e permanganato carbono orgânico oxidável (POXC)] nas camadas de 0-10 e 10-20 em função de diferentes tratamentos de fertilização.



Na camada de 10-20 cm, a primeira função discriminante explicou aproximadamente 70% da variância total dos tratamentos. Os atributos estruturais foram as principais variáveis utilizadas para a discriminação dos tratamentos (figura 3.4). Juntamente com a segunda função discriminante, designamos três grupos: o Grupo 1 composto pelos tratamentos Controle, ROI + FMI e FMI; o Grupo 2 composto apenas pelo ROI + FMI; e o Grupo 3 composto apenas pelo tratamento com ROI.

Além disso, na camada de 10-20 cm, os dois componentes principais explicaram aproximadamente 52% da variância dos tratamentos (Figura 3.4). Nessa camada, o componente 1 foi representado apenas pelos valores de  $\theta$  e microporosidade, enquanto o componente 2 foi representado pelos atributos estruturais do solo. Portanto, a análise dos componentes principais nesta camada também permitiu distinguir os tratamentos ROI dos demais tratamentos em todos os atributos (Figuras 3.2 e 3.3).

Os preservatórios COS mais instáveis apresentaram correlação mais forte com os atributos estruturais do solo e com a retenção de água na camada de 0-10 cm (Figura 3.4). Entre essas frações, o COS extraível com água quente apresentou o maior coeficiente de correlação que o COS orgânico permanganato oxidável para microporosidade, porosidade total e valores de  $\theta$ . Além disso, apresentou maior correlação negativa com a densidade e macroporosidade para ambas as camadas do solo (0-10 e 10-20 cm). Com base na análise multivariada, o tratamento ROI resultou nos maiores valores de porosidade total e microporosidade e menor macroporosidade e densidade aparente.

Os efeitos dos tratamentos FMI e ROI + FMI na estrutura do solo e retenção de água foram semelhantes nas duas camadas do solo, com exceção do adubo misto na camada de 10-20 cm (Figura 3.3). A similaridade entre esses tratamentos ocorreu devido à maior macroporosidade e menor microporosidade. Portanto, a retenção de água foi reduzida para  $\Psi_m$  de -10, -100 e -700 kPa (Figura 3.4). Enquanto a distinção do ROI + FMI na camada de 10-20 cm pode ter sido influenciada pelo teor de silte (Figuras 3.4).

As parcelas do controle diferiram dos demais tratamentos (Figura 3.3). Nesse caso, os valores intermediários de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e  $\theta$  aos  $\Psi_m$  de -10, -100 e -700 kPa foram devidos aos valores mais baixos dos pools SOC (Figura 3.3). Por outro lado, na camada de 10-20 cm, as parcelas de controle eram como o FMI e ROI + FMI (Figura 3.4). Neste caso, as parcelas de controle apresentaram os maiores

valores de densidade e os menores valores de COS total, COS oxidável com permanganato e COS extraível com água quente (Figura 3.4).

### 3.6 DISCUSSÃO

#### 3.6.1 *Efeitos das fontes de fertilização nos pools de carbono orgânico do solo (COS)*

Os aumentos significativos dos reservatórios COS devido à aplicação de resíduos orgânicos industriais (ROI), demonstram sua eficiência no aumento da qualidade do solo. Tanto o COS extraível com água quente como o COS oxidável por permanganato são reconhecidos indicadores de qualidade do solo, e têm sido amplamente usados para refletir a atividade microbiana do solo (GHANI et al. 2003; CULMAN et al. 2012). Embora muitos estudos tenham focado nos efeitos de diferentes adubações orgânicas na fertilidade do solo e propriedades físicas (DUNJANA et al. 2012; ZWETSLOOT et al. 2015; THOMAS et al. 2017), seus efeitos sobre os pools COS não foram extensivamente estudados. Além disso, a influência dos resíduos derivados de abatedouros de aves permanece relativamente desconhecida na literatura, especialmente quando avaliada em combinação com a fertilização mineral (ROMANIW et al. 2015).

As melhorias do conteúdo de COS lábil (por exemplo, COS oxidável extraível por água quente e oxidável por permanganato) nas camadas superficiais do solo devido ao ROI são muito provavelmente justificadas pela melhoria da entrada de biomassa de C. Com maior deposição de serapilheira sobre a superfície do solo, a comunidade microbiana encontra condições ideais para se desenvolver, proporcionando assim maiores teores de COS lábil. Esse aumento na função de maior entrada de biomassa também foi relatado por outros autores em sistemas de plantio direto de longo prazo no sul do Brasil (INAGAKI et al. 2016; de OLIVEIRA FERREIRA et al. 2016). Embora não tenhamos observado efeitos sobre os estoques de COS em seis anos de experimento, períodos mais longos de avaliação podem levar a maiores diferenças entre os tratamentos, já que as diferenças na entrada de biomassa acumulada tendem a aumentar (INAGAKI et al. 2017). Portanto, nosso estudo mostra evidências da eficiência da aplicação de ROI para melhorar os reservatórios COS lábil e destaca a eficiência dessas variáveis como indicadores de qualidade do solo.

#### 3.6.2 *Efeitos das fontes de fertilização nos atributos físicos do solo*

A eficiência da aplicação de ROI, isoladamente ou em combinação com adubação mineral, na melhoria dos atributos físicos do solo, também destaca sua eficiência como condicionador de solo. Melhorias dos atributos físicos do solo em função de outros tipos de

aplicações de resíduos foram observadas por diferentes autores (HAYNES e NAIDU 1998; KHALEEL et al. 1981; ALVARENGA et al. 2017). No entanto, poucos estudos demonstraram a capacidade do resíduo abatedouro em melhorar essas características do solo.

Esses dados são importantes para demonstrar o impacto positivo dos ROI's no fornecimento de benefícios ambientais e agronômicos através da melhoria do estado físico do solo. A capacidade dos solos de armazenar água sob períodos de seca é de extrema importância para a produção agrícola, especialmente sob as atuais condições de mudanças climáticas (BLANCO-CANQUI et al. 2017).

Os resultados do desempenho do plantio direto na retenção de água foram inconsistentes, com relatos indicando aumento ou ausência de efeito da prática (LYON et al. 1998; MCVAY et al. 2006). Em um experimento de plantio direto de longo prazo (ou seja, 35 anos), Blanco-Canqui et al. (2017) observaram efeito limitado ou nenhum efeito positivo do plantio direto na elevação da retenção de água do solo em comparação com sistemas de arado de aiveca e convencional. Os autores sugeriram que práticas adicionais como a adição de plantas de cobertura são necessárias para elevar o potencial de manejo do solo na elevação dessa variável. Desta forma, o estudo demonstra que em um sistema de plantio direto de 21 anos, a adição de resíduos orgânicos poderia proporcionar melhorias significativas na retenção de água e conteúdo de pools COS lábil após 6 anos de sua aplicação. Portanto, a adição de resíduos orgânicos de aves em solos com ou sem adubação mineral pode ser uma prática eficaz para melhorar a qualidade física das áreas de plantio direto.

### *3.6.3 A relação entre os reservatórios de COS e os atributos físicos influenciados pelos resíduos de abatedouro*

Os resultados também demonstraram que o aumento do COS lábil foi responsável pela melhora dos atributos físicos do solo, como porosidade total e retenção de água. O aumento da atividade microbiana causado pela aplicação de ROI pode proporcionar um aumento da porosidade do solo, como demonstrado por Haynes e Naidu (1998). Por outro lado, Vogel et al. (2014) mostraram que a formação de microporos em partículas minerais proporciona condições de micro-habitats vantajosas, criando desta forma, pontos preferenciais para o acúmulo de COS. Portanto, as melhorias nos atributos biológicos e físicos do solo, causadas pela adição de ROI, são indicadores importantes para evidenciar sua eficiência como uma alteração do solo.

### *3.6.4 Fertilizante mineral vs Resíduo orgânico de abatedouro, as vantagens de cada fonte de fertilização*

A maior eficiência dos tratamentos orgânicos na elevação do teor de matéria orgânica do solo é um resultado importante para incentivar os agricultores a adotarem tais formas alternativas de fertilização. Os benefícios dessas aplicações foram observados não apenas na qualidade do solo, mas também na produtividade das culturas ao longo do período experimental. A entrada de fertilizantes minerais comerciais é considerada uma das principais fontes de nutrientes para a produção de alimentos (STEWART et al. 2005). Por outro lado, os fertilizantes de resíduos orgânicos têm sido reconhecidos por proporcionar benefícios para o solo, incluindo o conteúdo de matéria orgânica, oferta de nutrientes e condições físicas (ZWETSLOOT et al. 2015).

No estudo, o ROI demonstrou ser o melhor tratamento como condicionador de solo, elevando o COS e a qualidade física, enquanto o tratamento com fertilizante mineral alcançou os maiores níveis de produtividade da cultura. No geral, o tratamento misto tendeu a permanecer intermediário entre as duas fontes completas (por exemplo, mineral e orgânica). Embora o tratamento misto não tenha atingido o valor máximo para nenhuma das propriedades avaliadas, do ponto de vista prático, demonstrou ser uma estratégia de fertilização adequada. Pode-se observar que a fertilização mista (ROI + FMI) apresentou COS e atributos físicos lábeis significativamente mais elevados que o fertilizante mineral. Além disso, atingiu níveis semelhantes de produtividade de culturas acumuladas como o fertilizante mineral, cerca de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> mais alto que o ROI em 6 anos de experimento. Portanto, o estudo demonstra evidências de que misturar fertilização orgânica a mineral pode ser um método eficiente para extrair os melhores benefícios de cada fonte de fertilização.

Tal prática pode ser importante, pois a adubação orgânica faz bom uso dos produtos desperdiçados, além de exigir menor produção de energia em comparação à adubação mineral (RUGGIERI et al. 2009). Portanto, a adição de resíduos orgânicos à adubação mineral industrial pode fornecer um importante serviço ecossistêmico, reduzindo a quantidade de fertilizantes industriais aplicados. Além disso, do ponto de vista econômico, a compostagem pode se tornar uma fonte de fertilização mais barata, principalmente adequada para pequenos agricultores (RUGGIERI et al. 2009).

### 3.7 CONCLUSÕES

A análise multivariada indicou que as melhorias das qualidades físicas do solo estavam relacionadas principalmente ao aumento de pools COS lábeis. A adubação mineral proporcionou os maiores níveis de produtividade da cultura, enquanto o resíduo orgânico industrial melhorou os atributos COS e físico. A mistura de fertilizantes mostrou-se um método eficiente de fertilização, uma vez que atingiu níveis semelhantes de produtividade das culturas ao fertilizante mineral, mas com melhor condicionamento do solo (ou seja, maior COS instável, retenção de água e porosidade).

O uso de resíduos orgânico industrial como fonte de fertilização, isoladamente ou em combinação com a fertilização mineral, proporcionou melhorias significativas nos atributos físicos do solo e nos pools de carbono orgânico no solo (COS).

### 3.8 REFERENCIAS

ALVARENGA, P.; PALMA, P.; MOURINHA, C.; FARTO, M.; DORES, J.; PATANITA, M.; CUNHA-QUEDA, C.; NATAL-DA-LUZ T.; RENAUD, M.; SOUSA, J. P. Recycling organic wastes to agricultural land as a way to improve its quality: A field study to evaluate benefits and risks. **Waste Manage**, v. 61, p.582-592, 2017.

BLANCO-CANQUI, H.; WIENHOLD, B. J.; JIN, V. L.; SCHMER, M. R.; KIBET, L. C.; (2017) Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. **Soil Tillage Research** v. 170, p. 38-42, 2017.

CULMAN, S. W.; SNAPP, S. S.; FREEMAN, M. A.; SCHIPANSKI, M. E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRINKWATER, L. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLOVER, J. D.; GRANDY, A. S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL JE, MIRKSY, S. B.; SPARGO, J. T.; WANDER, M. M. Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76 n. 2, p. 494-504, 2012.

DANE, J. H.; TOPP, G. C.; CAMPBELL, G. S. **Methods of soil analysis physical methods**. 2002.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; AMADO, T.; RICE, C. W.; DIAZ, D. A. R.; KELLER, C.; INAGAKI, T. M. Can no-till grain production restore soil organic carbon to levels natural grass in a subtropical Oxisol? Agriculture, **Ecosystems & Environment** v. 229 p. 13-20, 2016.

DRECHSEL, P.; HEFFER, P.; MAGEN, H.; MIKKELSEN, R.; WICHELNS, D. Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition

DUNJANA, N.; NYAMUGAFATA, P.; SHUMBA, A.; NYAMANGARA, J.; ZINGORE, S. Effects of cattle manure on selected soil physical properties of smallholder farms on two soils of Murewa, Zimbabwe. **Soil Use Manage**, v. 28, n. 2, p. 221-228, 2012.

Embrapa, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (3ª edição). Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 2013.

FAO. Basic Principles of Conservation Agriculture. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>>, acesso em 25/04/2017.

GHANI, A; DEXTER, M; PERROTT, K. W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology & Biochemistry* v. 35, n. 9, p. 1231-1243, 2003.

GIROTTI, F.; ALIBARDI, L.; COSSU, R.; (2015) Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, v. 45, p. 32-41, 2015.

HAN, J.; SHI, J.; ZENG, L.; XU, J.; WU, L. Impacts of continuous excessive fertilization on soil potential nitrification activity and nitrifying microbial community dynamics in greenhouse system. **Journal of soils and sediments**. v. 17, n. 2, p. 471-480, 2017.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutricion Cycling Agroecosytens**, v. 51, n. 2, p. 123-137, 1998.

INAGAKI, T. M.; DE MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P.; Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of The Total Environment**, v. 599, p. 523-532, 2017.

INAGAKI, T. M.; SA, J. C. D.; CAIRES, E. F.; GONCALVES, D. R. P.; Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 231, p. 156-165, 2016.

JU, X.; KOU, C.; CHRISTIE, P.; DOU, Z.; ZHANG, F. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 2, p. 497-506, 2007.



KHALEEL, R.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in Soil Physical-Properties Due to Organic Waste Applications - a Review. **Journal Environmental Quality**, v. 10, n. 2, p. 133-141, 1981.

LIM, S. L.; WU, T. Y.; LIM, P. N.; SHAK, K. P. Y. 15) The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 95, n. 6, p. 1143-1156, 2015.

LYON, D. J.; STROUP, W. W.; BROWN, R. E. Crop production and soil water storage in long-term winter wheat-fallow tillage experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 49, n. 1-2, p. 19-27, 1998.

MCVAY, K. A.; BUDDE, J. A.; FABRIZZI, K.; MIKHA, M. M.; RICE, C. W.; SCHLEGEL, A. J.; PETERSON, D. E.; SWEENEY, D. W.; THOMPSON, C. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 434-438, 2006.

PIERZYNSKI, G. M.; The chemistry and mineralogy of phosphorus in excessively fertilized soils. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 21, n. 3-4, p. 265-295, 1991.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

ROMANIW, J.; SA, J. C. D.; PADILHA, A. A.; RAMOS, F. D.; EURICH, G.; BRESSAN, P. T. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 477-487, 2015.

RUGGIERI, L.; CADENA, E.; MARTINEZ-BLANCO, J.; GASOL, C. M.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X.; GEA, T.; SORT, X.; SANCHEZ, A. Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 9, p. 830-838, 2009.

SA, J. C. D.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil Tillage Reserach**, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SEKI, K. SWRC fit—a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 4, n. 1, p. 407-437, 2007.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; DE MACEDO, J. L. V.; BLUM, W. E. H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v. 291, n. 1-2, p. 275-290, 2007.

STEWART, W. M.; DIBB, D. W.; JOHNSTON, A. E.; SMYTH, T. J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**. v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.

THOMAS, B. W.; LUO, Y.; LI, C.; HAO, X. Utilizing composted beef cattle manure and slaughterhouse waste as nitrogen and phosphorus fertilizers for calcareous soil. **Compost Science & Utilization**, v. 25, n. 2, p. 102-111, 2017.

TIROL-PADRE, A.; LADHA, J. K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 3, p. 969-978, 2004.

VOGEL, C.; MUELLER, C. W.; HOSCHEN, C.; BUEGGER, F.; HEISTER, K.; SCHULZ, S.; SCHLOTER, M.; KOGEL-KNABNER, I. Submicron structures provide preferential spots for carbon and nitrogen sequestration in soils. **Nat Commun**, v. 5, p. 2947, 2014.

ZHOU, H.; PENG, X.; PERFECT, E.; XIAO, T.; PENG, G. Effects of organic and inorganic fertilization on soil aggregation in an Ultisol as characterized by synchrotron based X-ray micro-computed tomography. **Geoderma**, v. 195, p. 23-30, 2013.

ZWETSLOOT, M. J.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D. Recycling slaughterhouse waste into fertilizer: how do pyrolysis temperature and biomass additions affect phosphorus availability and chemistry? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 2, p. 281-288, 2015.

## CONCLUSÃO FINAL

Os resultados indicaram que o uso de ROI e FMI + ROI têm um bom potencial no sequestro de C no solo na mitigação de CO<sub>2</sub> sem qualquer custo adicional. Ao contrário, aumentou a produção e retorno líquido da maioria das culturas. O uso do ROI 100 reduziu a densidade do solo, aumentou a porosidade total e micro e melhorou a estrutura do solo, resultando em melhor retenção de água e que o teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tem seu potencial de disponibilidade para as plantas após 40 dias da aplicação do ROI, sendo assim indicado a aplicação do resíduo antecedendo o plantio da cultura, aproveitando assim o potencial de liberação.

A aplicação de FMI para sequestro de C envolve maiores despesas e reduz o lucro líquido dos agricultores. Assim conclui-se que o ROI proporciona aumentos no C do solo levando ao aumento da produtividade das culturas, da qualidade química, física e biológica do solo.

Conclui-se que o uso de resíduos orgânico industrial como fonte de fertilização, isoladamente ou em combinação com a adubação mineral, é um método eficiente para elevar a qualidade do solo e aumentar a produtividade das culturas sob sistema de plantio direto.