

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ROSEMERI METZ**

**EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A  
ATIVIDADE MICROBIANA EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB  
CULTIVO DE FEIJOEIRO**

**CURITIBA**

**2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ROSEMERI METZ**

**EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A  
ATIVIDADE MICROBIANA EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB  
CULTIVO DE FEJJOEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Monteiro de Paula

**CURITIBA**

**2013**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
Mestrado e Doutorado



## PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **ROSEMERI METZ**, intitulada: **Efeito residual de lodos de esgoto alcalinizado sobre a atividade microbiana em três solos do estado do Paraná cultivado com feijoeiro**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 13 de novembro de 2013.

Profa. Dra. Beatriz Monte Serrat, Presidente

Prof. Dr. Marcelo Cabral Jahnel, 1º Examinador

Profa. Dra. Alessandra Monteiro de Paula, 2º Examinadora

Ao meu pai, Selmiro Metz (*in memorium*),  
que há muito tempo me levou pela mão para o meu primeiro dia de escola.  
Às pessoas mais importantes em minha vida, meus filhos Felipe e Lorena,  
grandes incentivadores da minha caminhada.

**Dedico**

“.....Porque qualquer um, independentemente das habilitações que tenha, ao menos uma vez na sua vida fez ou disse coisas muito acima da sua natureza e condição, e se a essas pessoas pudéssemos retirar do quotidiano pardo em que vão perdendo os contornos, ou elas a si próprias por violência se retirassem das malhas e prisões, quantas mais maravilhas seriam capazes de obrar, que pedaços de conhecimento profundo poderiam comunicar, porque cada um de nós sabe infinitamente mais do que julga e cada um dos outros infinitamente mais do que neles aceitamos reconhecer.....”

José Saramago (A jangada de pedra)

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, esta força do bem, que nos conduz, e que me permitiu neste momento toda essa vivência.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade concedida.

A minha orientadora professora Beatriz Monte Serrat, por ter me acolhido. Além do aprendizado em solos, aprendi ainda mais com a sua experiência e ética, enfim, com sua sabedoria.

Ao professor Jair, um agradecimento especial pelas horas dedicadas, pela amizade, paciência e conhecimento compartilhado.

À professora Alessandra pelo auxílio e orientação.

A todos os professores e funcionários do departamento de solos, que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional.

Ao Instituto EMATER do Paraná, que consentiu mais este passo em meu caminho dentro da extensão rural.

Aos colegas de trabalho, especialmente ao Sérgio Guarienti, pelo apoio e incentivo.

Aos colegas de faculdade, pela amizade, auxílio, carinho e pela oportunidade de conviver com a energia contagiante da juventude.

As graduandas Athina Ilich e Andressa Andriolli pelo auxílio na condução do experimento e em algumas análises laboratoriais. Ao colega Daniel Pontoni por disponibilizar seu trabalho, aos colegas da pós-graduação João Pascoalino, Letícia de Pierre, Murilo Veloso, Hilbert Blum, Fabiana de Medeiros Silveira, Thiago Ranzan, pelo apoio e especialmente a Bruna Wurr Rodak (Bruninha) pelo auxílio, carinho e amizade.

Ao professor Volnei Pauletti pelo apoio durante o experimento e à professora Fabiane Machado Vezzani que me incentivou a iniciar este trabalho.

Aos funcionários dos laboratórios Cleusa, Roberto, Hélen e Letícia pelo auxílio.

Ao pesquisador Nelson da Silva Fonseca Junior do IAPAR, pelo auxílio na escolha da cultivar e pelas sementes de feijão.

A minha família pela compreensão, pelo apoio e incentivo, a minha irmã Haidi que me auxiliou e especialmente a minha filha Lorena, presente em todos os momentos auxiliando e encorajando.

Enfim, a todos que de alguma maneira ajudaram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	2
1. CAPÍTULO I - EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A ATIVIDADE MICROBIANA EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB CULTIVO DE FEIJOEIRO.....	8
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1.1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
1.3.1 Solo LVd textura média e Lodo da região de Umuarama.....	19
1.3.2 Solo LVdf muito argiloso e Lodo da Região de Pato Branco.....	31
1.3.3 Solo LBw argiloso e Lodo da Região Metropolitana de Curitiba.....	41
1.4. CONCLUSÕES.....	51
1.5. LITERATURA CITADA.....	52
2. CAPÍTULO II - EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A ATIVIDADE MICROBIANA EM DOIS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB CULTIVO DE FEIJOEIRO.....	60
RESUMO.....	60
ABSTRACT.....	61
2.1. INTRODUÇÃO.....	61
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
2.4. CONCLUSÕES.....	75
2.5. LITERATURA CITADA.....	76
CONCLUSÕES GERAIS.....	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
Apêndice 1.....	82
Apêndice 2.....	83
Apêndice 3.....	84

# **EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A ATIVIDADE MICROBIANA EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB CULTIVO DE FEIJOEIRO**

Autora: Rosemeri Metz

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Monteiro de Paula

## **RESUMO GERAL**

O uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo e o seu tratamento por alcalinização lhe confere propriedades de corretivo agrícola. A matéria orgânica acrescentada ao solo através do lodo de esgoto proporciona imediato aumento da respiração e da atividade microbiana. Pertencente ao mesmo projeto, em trabalho anterior, os solos receberam doses de distintos lodos de esgotos alcalinizados e o primeiro cultivo. Portanto, o objetivo desta fase da pesquisa foi verificar os efeitos residuais de doses de lodos de esgotos alcalinizados, utilizados como corretivo, sobre a atividade microbiana em três solos do Paraná: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média; LATOSSOLO VERMELHO Distroférico muito argiloso e LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso. O experimento foi instalado na casa de vegetação da UFPR/SCA/DSEA com a semeadura do segundo cultivo de feijão, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições, estes representados por doses 0, 50, 100, 150 e 200% da dose de lodo alcalinizado equivalente para elevar o pH a 5,5 e a dose de 100% de calcário para a mesma condição de pH, todas obtidas anteriormente pelo método da incubação. Foram determinadas variáveis da planta, do solo, as respirações edáfica e basal e a biomassa microbiana do solo (BMS) pela respiração induzida por substrato. Os resultados foram submetidos a análises estatísticas de variância, Anova e testes de médias Tukey a 5% pelo programa Assistat. Nos três solos, com a elevação das doses de lodo de esgoto alcalinizado houve respostas para o desenvolvimento da planta, pH do solo e aumento da liberação de CO<sub>2</sub> nas respirações edáfica, basal e na BMS. As doses 150 % 200 % dos lodos de esgoto alcalinizados apresentaram efeito residual sobre a atividade microbiana no solo da sua respectiva região.

**Palavras-chave:** respiração basal, respiração induzida por substrato, respiração edáfica.

**RESIDUAL EFFECT OF SLUDGE ALKALINE SEWAGE ON THE SOIL MICROBIAL ACTIVITY IN THREE PARANÁ STATE, UNDER CULTIVATION OF BEAN**

Author: Rosemeri Metz

Advisor: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Beatriz Monte Serrat

Co- Advisor: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co- Advisor: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Monteiro de Paula

**ABSTRACT**

The use of sewage sludge in agriculture is the most appropriate destination for this waste and its treatment by alkalizing properties conferred concealer farm. Organic matter added to the soil through sewage sludge provides an immediate increase in respiration and microbial activity. Belonging to the same project in previous work, the soil was treated with different doses of sewage sludge Alkaline and a first crop. Therefore, the objective of this research phase of the was to determine residual effects of doses sewage sludge Alkalized used on the microbial activity in three soils of Paraná: Oxisol Dystrophic Typic medium texture; Oxisol Distroferric very clayey and clayey; Oxisol Acrustox clay. The experiment was conducted in a greenhouse at UFPR / SCA / DSEA, by sowing the second crop of beans, using a completely randomized design with six treatments and three replications, represented by these doses 0, 50, 100, 150 and 200% of the equivalent dose of an alkaline slurry to raise the pH to 5.5 and the dose 100% of limestone in the same pH condition, all previously obtained by the method of incubation. Were certain variables of the plant, soil, and basal breaths edaphic and soil microbial biomass (SMB) by substrate induced respiration. The results were subjected to statistical analysis of variance, ANOVA and Tukey tests averages 5%, the program Assistat. In both soils, with increasing doses of sewage sludge there were no response to the development of the plant, soil pH and increased release of CO<sub>2</sub> in the respiration edaphic, microbial respiration and at BMS. Doses 150% and 200% of sewage sludge Alkaline had an effect on the microbial activity in the soil of their respective region.

**Key-Words:** microbial respiration, edaphic respiration, substrate induced respiration.



## INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento acelerado da população mundial acarreta inúmeros desafios na busca da sustentabilidade do planeta. Durante o século XX o mundo experimentou o mais rápido crescimento demográfico da história, passando de 1,65 bilhão para seis bilhões de pessoas (Ojima, 2011). Um dos principais problemas causados pelo crescimento antrópico é a geração de grandes volumes de resíduos e destinação adequada. Dentre os resíduos de forte impacto ambiental, destaca-se o lodo de esgoto, subproduto resultante do tratamento do esgoto coletado nos aglomerados urbanos. Segundo o IBGE (2011) os domicílios com acesso a rede de esgoto, aumentaram 36% em oito anos, indicando melhorias nos aspectos ambientais e sanitários, embora somente uma parte deste esgoto coletado recebe tratamento e estabilização, antes de ser devolvido ao ambiente.

O lodo gerado pelo processo de tratamento e estabilização do esgoto doméstico representa cerca de 1 a 2% do volume do esgoto tratado (Andreoli et al., 1999a). Porém, pode chegar até 50% do custo total do tratamento do esgoto (Camargo et al., 2008). Com o incremento contínuo da coleta e do tratamento, torna-se um constante desafio mundial a mitigação dos impactos dos resíduos gerados.

Nesse contexto, Bettioli & Camargo (2006) afirmam que o uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo, sobre os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos diminuindo seu passivo ambiental, como a redução da pressão sobre os recursos hídricos com vantagens agronômicas como a ciclagem dos nutrientes exportados pela colheita e economia para os agricultores nos custos de produção.

No estado do Paraná o uso de lodo de esgoto na agricultura vem sendo tema de diversas pesquisas na área ambiental e agronômica (Andreoli et al., 1999b; Soares, 2008; Marin et al., 2010; Serrat et al., 2011). Para poder ser utilizado na agricultura como fertilizante ou corretivo agrícola, o lodo de esgoto tratado, precisa estar adequado aos padrões sanitários mínimos e respeitar os limites da presença de patógenos humanos e atender as exigências dos órgãos ambientais quanto à presença de metais pesados, substâncias orgânicas e elementos químicos nocivos que possam eventualmente persistir após o tratamento e a estabilização do lodo. A área de exploração agrícola ou florestal onde o lodo de esgoto pode ser aplicado também precisa passar por uma avaliação prévia e adequar-se a parâmetros que determinam a segurança ambiental e sanitária. O governo federal regulamentou o uso do lodo de esgoto através Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) com a Resolução

375/2006 (CONAMA, 2006). No estado do Paraná a Resolução SEMA 021/2009 (SEMA, 2009), complementa a normatização e o processo aqui utilizado é de higienização através da Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), eficiente no controle de patógenos.

As características do lodo de esgoto variam em função do local de origem, doméstica ou industrial, do processo de tratamento aeróbio ou anaeróbio, do caráter sazonal, entre outros fatores. Estudos de Bettiol & Camargo (2006), consideram que um lodo de esgoto doméstico típico apresenta aproximadamente 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio e 2% de fósforo. Entretanto, segundo Santos (2009) a caracterização do lodo, a determinação da quantidade a ser aplicada ao solo e o monitoramento das áreas são fundamentais como aspectos de segurança e rastreabilidade, o teor inicial de metais pesados determina o limite de concentração destes elementos no solo, sendo então a base inicial do cálculo para definição do volume visando à carga total cumulativa de elementos metálicos, suas interações e possível toxidez nas plantas.

O processo de estabilização do lodo de esgoto através da alcalinização com cal promove a ele propriedades de corretivo agrícola, o que leva ao estabelecimento de normativas com restrições agrônômicas para a sua utilização como corretivo, que somente pode ocorrer após o atendimento das normas sanitárias, referentes à contaminação com patógenos e as restrições ambientais citadas, entre elas o respeito dos limites de metais pesados presentes no solo após o recebimento do lodo. Após o atendimento das restrições sanitárias e ambientais a liberação da aplicação do lodo de esgoto alcalinizado estará condicionada ainda ao atendimento concomitantemente dos parâmetros agrônômicos. Critérios agrônômicos estabelecem limites para a utilização do lodo alcalinizado. A primeira restrição, apesar de constituir caráter agrônômico, possui o objetivo de evitar a contaminação ambiental, impondo limites para os teores de nitrogênio (N) na forma de nitrato ou amônio do solo após receber lodo de esgoto. Os teores não podem exceder a necessidade de nitrogênio da cultura a ser imediatamente instalada. Outro critério agrônômico está condicionado aos valores de pH do solo, que logo após o recebimento do lodo alcalinizado não pode situar acima de 7,0. Existem também limitações quanto a definição das culturas que podem receber o lodo de esgoto, sendo proibido para áreas com cultivo de olerícolas (Bettiol & Camargo, 2006; CONAMA, 2006; SEMA, 2009).

Atendidas as normativas, o lodo de esgoto alcalinizado passa a ser um produto seguro e com grande potencial de utilização na agricultura como corretivo, possibilitando destinação adequada de resíduos, redução de custos de produção, ciclagem de nutrientes e melhoria dos

atributos químicos. Poderá também trazer benefícios sobre os atributos físicos e biológicos do solo. Os resultados do censo agropecuário brasileiro (IBGE, 2006) demonstram a importância da agricultura familiar para a produção de alimentos no país. A agricultura familiar no Brasil é responsável por mais de 70% da produção de alimentos, entre eles o feijão e concentra 84,4% dos estabelecimentos agropecuários do país. Só 24,3% da área total ocupada por estabelecimentos rurais. Apesar disso, gera em média 38% do total da receita dos estabelecimentos agropecuários do país e emprega aproximadamente 74% dos trabalhadores agropecuários do país. Portanto, é de fundamental interesse a permanência da agricultura familiar no campo, porém esta situação vem se modificando com uma tendência de redução da agricultura familiar no Brasil, o que pode no futuro comprometer a autonomia e a segurança alimentar nacional na produção de alimentos básicos como o feijão. Advindo desta realidade, quaisquer esforços são benéficos no sentido de manter e melhorar as condições da agricultura familiar no Brasil.

O cultivo do feijoeiro tem importância econômica, social, cultural e nutricional. Apesar de ser uma cultura com média tolerância à acidez do solo, o feijoeiro responde a correção do solo com aumentos de produtividade (EMBRAPA, 2011). A utilização de resíduos ricos em matéria orgânica e nutrientes e com propriedades de corretivos da acidez do solo como os lodos de esgoto alcalinizados podem auxiliar na manutenção e aumento da produtividade, com benefícios na conservação do solo, bem como na redução dos custos de produção.

Como fonte de macro e micronutrientes, Suhadolc et al. (2010) estudando o uso do lodo de esgoto na agricultura atribuíram os resultados de aumento da matéria seca das plantas e da produtividade à maior disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn). Estudos recentes realizados por Andrade et al. (2006); Fia et al. (2005); Pontoni (2011), demonstram a eficiência do lodo estabilizado pelo processo de alcalinização como corretivo da acidez do solo. Importantes resultados foram encontrados sobre a ação do lodo de esgoto como condicionador do solo (Sort, 1998). De Maria et al. (2007) pesquisando o efeito do lodo de esgoto sobre os agregados de solo degradado, observaram resultados onde o lodo determinou direta ou indiretamente a estabilidade e a quantidade de agregados do solo, mesmo com doses mais baixas, porém perceberam que este efeito diminuiu após um ano da aplicação e tem relação direta com o teor de carbono (C) orgânico no solo. Varas et al. (2011), pesquisando o efeito do lodo de esgoto sobre atributos do solo, após 1,4 anos a aplicação do lodo observaram melhoria da estrutura do solo.

A dinâmica da matéria orgânica em solos que receberam lodo de esgoto, sua composição química e sua interferência no ciclo do carbono do solo, vem merecendo atenção especial da pesquisa. Resultados encontrados por Losada et al. (2011), verificaram respostas significativas nos tratamentos de lodo mais calcário do que nos tratamentos de calcário e lodo sozinhos, para o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS). O aumento da MOS acumulada correlaciona-se com teores de carbono lábil, de nitrogênio total e com a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, o que pode favorecer o estabelecimento de uma comunidade microbiana competitiva e eficiente. O aporte de C ao solo via lodo de esgoto, embora apresente correlação positiva com a quantidade absoluta de carbono liberado como dióxido de carbono (C-CO<sub>2</sub>), poderia correlacionar inversamente com a taxa de degradação (Santos et al., 2002; Andrade et al., 2006).

Existe uma correlação positiva da biomassa microbiana do solo, N total e C orgânico com os macroagregados. Segundo Cardoso (2009), a biomassa microbiana e seus metabólitos unem os microagregados com reflexos no aumento dos macroagregados do solo. As interações entre a microbiota do solo com os seus demais atributos são intensas e intimamente relacionadas às práticas de manejo recebido pelo solo.

A biomassa microbiana do solo representa de 1 a 5% da matéria orgânica do solo, sendo uma fonte mais acessível de nutrientes para as plantas que os contidos na fração húmica da matéria orgânica do solo, proporcionando aumento imediato e direto da absorção de nutrientes pelas raízes. Esses nutrientes prontamente liberados, oriundos da dinâmica ciclagem da comunidade microbiana, composta na maior parte por células microbianas mortas são rapidamente assimilados (Moreira & Siqueira, 2006). Por outro lado a fração húmica que encontra-se relativamente estável, é resistente às mudanças, sendo muitas vezes necessárias décadas para permitir a observação de mudanças mensuráveis em seu teor no solo. A biomassa microbiana é a principal fonte de enzimas no solo, sendo assim responsável pela quase totalidade da atividade biológica deste, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta (Moreira & Siqueira, 2002).

Segundo Powlson et al. (1997) um dos principais efeitos dos microrganismos do solo está relacionado ao manejo. Desta forma, podem ser sensíveis indicadores de alterações de origem antrópica que promovam mudanças na qualidade do solo. Os microrganismos possuem a capacidade de dar respostas rápidas a mudanças na qualidade do solo, característica que não é observada nos indicadores químicos ou físicos.

De acordo com Moreira & Siqueira (2002), a atividade microbiana do solo pode ser definida como toda reação bioquímica catalisada pelos organismos do solo, permitindo a inferência de que avaliações destas atividades poderiam ser úteis para avaliar a saúde e a qualidade do mesmo.

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um dos principais produtos do metabolismo de microrganismos heterotróficos e a avaliação da sua liberação do solo tem sido frequentemente usada como medida da atividade microbiana (Stotzky, 1960; Anderson & Domsch, 1978; Santos, et al., 2009), possibilitando também quantificar a velocidade de degradação de um determinado substrato (Konrad & Castilhos, 2001).

Portanto, os microrganismos apresentam grande potencial de utilização em estudos de qualidade do solo por apresentarem alta sensibilidade a perturbações antropogênicas. Atuam direta e indiretamente em muitos processos do ecossistema como a decomposição de resíduos orgânicos. Respondem pela transformação, ciclagem e conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas e tem papel importante na formação da estrutura do solo, entre outras interações, com o facilitador das avaliações serem de baixo custo (Silveira et al., 2007).

Cardoso (1992) e Silveira et al. (2007) afirmam que sob a ótica destas interações, a adição de um resíduo orgânico como o lodo de esgoto ao solo, modifica a dinâmica de nutrientes, por aumentar a atividade e a biomassa microbiana, tornando-as mais ativas por longos períodos após a incorporação. Cattelan & Vidor (1990), em estudo realizado sistemas de culturas observaram que sistemas com maior produção de biomassa vegetal e acúmulo de resíduos na superfície apresentaram os maiores valores para a biomassa microbiana.

As interações entre os microrganismos do solo e o material orgânico adicionado podem ser resumidas da seguinte maneira: decomposição dos compostos orgânicos; atenuação de alguns problemas potenciais, no caso do lodo de esgoto como resíduos de detergentes; eliminação dos microrganismos patogênicos; participação nos ciclos do N, P e enxofre (S); e atuam nas reações que influenciam a solubilidade e mobilidade de íons inorgânicos (Abreu Jr. et al., 2002). Tornando estas interações ainda mais complexas, a presença da rizosfera diferencia este ambiente, com reflexos na planta, no solo e nos microrganismos. Conforme Silveira et al. (2007) relações benéficas, patogênicas e neutras são reguladas por complexos sinais moleculares que ocorrem neste ambiente.

As práticas que aumentam carbono no solo e proporcionam mineralização lenta de nutrientes podem resultar em uma maior e mais estável comunidade microbiana. Em condições aeróbias, a maior parte do carbono depositado é utilizada como fonte de energia

primária para o crescimento microbiano, sendo oxidado bioquimicamente a  $\text{CO}_2$  e liberado para a atmosfera. Este processo de respiração heterotrófica associada à respiração autotrófica das raízes é conhecido por respiração edáfica ou respiração do solo. Segundo Moreira & Siqueira (2006), as propriedades físico-químicas da rizosfera associadas ao fornecimento de substratos orgânicos e aos fatores de crescimento favorecem intensa atividade metabólica das comunidades microbianas, aumentando a respiração do solo, estima-se que os microrganismos produzam de 50 a 80% do  $\text{CO}_2$  do solo e as raízes de 20 a 50%. Segundo os mesmos autores por estas razões o solo não rizosférico é por essência um deserto nutricional, nele a maioria dos organismos se encontra morta ou em dormência devido à ausência de ingredientes necessários para o seu metabolismo, principalmente substratos orgânicos e ambiente físico-químico favorável.

Conforme Lin & Brookes (1996) a medição do C liberado pela atividade microbiana do solo tem sido empregada na avaliação da mineralização dos compostos orgânicos. Dessa maneira, o estudo da mineralização através da atividade microbiana do solo sobre a carga orgânica de lodos de esgoto quando aplicados ao solo pode nortear a definição da dose a ser usada em campo (Vieira et al., 2011).

Logo, a obtenção e análise de dados sobre as alterações metabólicas da microbiota de solos que receberam lodo de esgoto alcalinizado podem ser úteis na avaliação do seu impacto no ambiente edáfico. Em alguns casos, alterações na biomassa microbiana presente e na atividade microbiana do solo pode preceder mudanças positivas ou negativas nas propriedades químicas e físicas, refletindo um claro sinal na melhoria ou na degradação do solo.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito residual da aplicação de doses de lodos de esgoto alcalinizados (LEA) sobre o desenvolvimento da planta e da atividade microbiana em solos com diferentes materiais de origem, com os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o efeito de doses crescentes de lodo de esgoto.
- Comparar resultados antes e depois do segundo cultivo.
- Verificar a equivalência do LEA com o calcário.

# **1. CAPÍTULO I - EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A ATIVIDADE MICROBIANA EM TRÊS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB CULTIVO DE FEIJOEIRO**

Autora: Rosemeri Metz

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Beatriz Monte Serrat

Co-orientador: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Monteiro de Paula

## **RESUMO**

O uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo e o seu tratamento por alcalinização lhe confere propriedades de corretivo agrícola. A matéria orgânica acrescentada ao solo através do lodo de esgoto proporciona imediato aumento da respiração e da atividade microbiana. Pertencente ao mesmo projeto, em trabalho anterior, os solos receberam doses de distintos lodos de esgotos alcalinizados e o primeiro cultivo. Portanto, o objetivo desta fase da pesquisa foi verificar os efeitos residuais de doses de lodos de esgotos alcalinizados, utilizados como corretivo, sobre a atividade microbiana em três solos do Paraná: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média; LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico muito argiloso e LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso. O experimento foi instalado na casa de vegetação da UFPR/SCA/DSEA com a semeadura do segundo cultivo de feijão, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições, estes representados por doses 0, 50, 100, 150 e 200% da dose de lodo alcalinado equivalente para elevar o pH a 5,5 e a dose de 100% de calcário para a mesma condição de pH, todas obtidas anteriormente pelo método da incubação. Foram determinadas variáveis da planta, do solo, as respirações edáfica e basal e a biomassa microbiana do solo (BMS) pela respiração induzida por substrato. Os resultados foram submetidos a análises estatísticas de variância, Anova e testes de médias Tukey a 5% pelo programa Assistat. Nos três solos, com a elevação das doses de lodo de esgoto alcalinado houve respostas para o desenvolvimento da planta, pH do solo e aumento da liberação de CO<sub>2</sub> nas respirações edáfica, basal e na BMS. As doses 150 % 200 % dos lodos de esgoto alcalinizados apresentaram efeito residual sobre a atividade microbiana no solo da sua respectiva região.

**Palavras-chave:** respiração basal, respiração induzida por substrato, respiração edáfica.

## **RESIDUAL EFFECT OF SLUDGE ALKALINE SEWAGE ON THE SOIL MICROBIAL ACTIVITY IN THREE PARANÁ STATE, UNDER CULTIVATION OF BEAN**

Author: Rosemeri Metz

Advisor: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Beatriz Monte Serrat

Co- Advisor: Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Co- Advisor: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Monteiro de Paula

### **ABSTRACT**

The use of sewage sludge in agriculture is the most appropriate destination for this waste and its treatment by alkalizing properties conferred concealer farm. Organic matter added to the soil through sewage sludge provides an immediate increase in respiration and microbial activity. Belonging to the same project in previous work, the soil was treated with different doses of sewage sludge Alkaline and a first crop. Therefore, the objective of this research phase of the was to determine residual effects of doses sewage sludge Alkalized used on the microbial activity in three soils of Paraná: Oxisol Dystrophic Typic medium texture; Oxisol Distroferric very clayey and clayey; Oxisol Acrustox clay. The experiment was conducted in a greenhouse at UFPR / SCA / DSEA, by sowing the second crop of beans, using a completely randomized design with six treatments and three replications, represented by these doses 0, 50, 100, 150 and 200% of the equivalent dose of an alkaline slurry to raise the pH to 5.5 and the dose 100% of limestone in the same pH condition, all previously obtained by the method of incubation. Were certain variables of the plant, soil, and basal breaths edaphic and soil microbial biomass (SMB) by substrate induced respiration. The results were subjected to statistical analysis of variance, ANOVA and Tukey tests averages 5%, the program Assistat. In both soils, with increasing doses of sewage sludge there were no response to the development of the plant, soil pH and increased release of CO<sub>2</sub> in the respiration edaphic, microbial respiration and at BMS. Doses 150% and 200% of sewage sludge Alkaline had an effect on the microbial activity in the soil of their respective region.

**Key-Words:** microbial respiration, edaphic respiration, substrate induced respiration



## 1.1 INTRODUÇÃO

O uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo, sobre os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos (Bettiol & Camargo, 2006). Após a higienização, pelo Processo de Estabilização Alcalina Prolongada, o lodo de esgoto alcalinizado (LEA) passa a apresentar propriedades de corretivo agrícola.

Como a matéria orgânica do solo (MO) encontra-se em condição de equilíbrio dinâmico, na qual a mineralização do húmus é compensada pela síntese do novo húmus, a adição de material orgânico rompe esse equilíbrio. Isso promove a degradação tanto da MO nativa como da exógena, com intensidades que variam conforme o tipo de solo, ocorrendo, concomitantemente, evolução e sucessão das diferentes comunidades microbianas do solo (Abreu Jr et al., 2002).

Os microrganismos e suas atividades metabólicas respondem também direta ou indiretamente pela transformação, ciclagem e conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas e têm papel importante na formação da estrutura do solo, entre outras interações (Silveira & Freitas, 2007). Assim a adição de LEA ao solo além de modificar a dinâmica de nutrientes, pode aumentar a atividade e a biomassa microbiana do solo (BMS), como resultado dessas diversas interações (Abreu Jr et al., 2002; Silveira & Freitas, 2007).

Para a formação da BMS o carbono é imobilizado nas células microbianas e por meio de sua avaliação é possível realizar comparações entre mudanças de manejo, avaliando possíveis impactos ambientais (Insamet al., 2001). Mas apenas as determinações da BMS não fornecem indicações sobre níveis de atividade das comunidades de microrganismos, sendo de fundamental importância à inclusão de variáveis como a respiração basal, que mensurem essa atividade e informem sobre os seus estados metabólicos (Tótola & Chaer, 2002; Araújo & Monteiro, 2007; Canellas et al., 2008).

Assim, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um dos principais produtos do metabolismo de microrganismos heterotróficos e a avaliação da sua liberação do solo tem sido frequentemente usada como medida da atividade microbiana (Anderson & Domsch, 1978; Santos et al., 2009), possibilitando também, quantificar a velocidade de degradação de um determinado substrato (Konrad & Castilhos, 2001).

Logo, a obtenção e análise de dados sobre as alterações metabólicas da microbiota de solos que receberam LEA podem ser úteis na avaliação do seu impacto no ambiente edáfico.

O objetivo deste estudo foi verificar os efeitos residuais da aplicação de doses de lodos de esgoto alcalinizado e de uma referência de calcário, usados como corretivo, sobre atividade microbiana de dois solos do estado do Paraná.

## **1.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **ANTECEDENTES (Histórico e Primeiro cultivo)**

Este trabalho é parte do Projeto Curvas de Elevação de pH de Solos com Lodo de Esgoto, com financiamento do Sistema de Inovação Tecnológica da Sanepar – (SANETEC), iniciado no ano de 2008 com a incubação e determinação das curvas de pH para 20 diferentes solos representativos do Estado do Paraná, incubados com lodos de esgoto alcalinizados (LEA), das respectivas regiões.

No ano de 2010, no mês de janeiro foi instalado o primeiro cultivo com feijão, momento em que os corretivos foram incorporados às amostras de solo. Foi conduzido em casa de vegetação no Setor de Ciências Agrárias (SCA), Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR por Pontoni (2011), para verificação da nutrição e crescimento do feijoeiro em função de lodo de esgoto alcalinizado e calcário, usados como corretivos. Os solos foram selecionados em três regiões distintas, nos municípios de Umuarama, Pato Branco e Pinhais. Foram coletados em área de vegetação secundária nas três localidades, à profundidade de 0-20 cm (horizonte A).

Em Umuarama, cujo clima da região é Cfa, o solo foi coletado no Campus da Universidade Estadual de Maringá (UEM), nas coordenadas 7.366.221 N e 270.414 E. O mesmo encontrava-se sobre formação Caiuá, Grupo Bauru (arenito). Foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média, (LVd textura média), sub grupo franco arenoso. Para Pato Branco que possui clima Cfb, o solo foi coletado na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), nas coordenadas 7.110.250 N e 334.260 E. Esse solo estava situado na formação Serra Geral, Grupo São Bento (basalto). O mesmo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico muito argiloso (LVdf muito argiloso). E para Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba (RMC) apresentando clima Cfb, foi coletado na Fazenda Experimental do Canguiri da UFPR, cujas coordenadas são 7.190.979 N e 687.492 E. Nesse local, corresponde a formação Guabirotuba (argilito). O solo foi classificado como LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso (LBw

argiloso). Para classificação dos solos dos respectivos ambientes, utilizou a classificação climática de Koppen e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA(2006).

Os teores de argila dos três solos foram determinados por Pontoni (2011) e são de 200 g kg<sup>-1</sup> para o solo LVd textura média de Umuarama; 850 g kg<sup>-1</sup> para o LVdf muito argiloso de Pato Branco e de 650 g kg<sup>-1</sup> para o LBw argiloso de Pinhais.

A aplicação do lodo de esgoto alcalinizado nestes solos ocorreu com a seleção de três lotes de lodo de esgoto bruto desaguado, resultantes de tratamento anaeróbico de estações de tratamento de esgotos (ETE's) dos municípios de Umuarama, Pato Branco e para o solo de Pinhais foi selecionado um lote de lodo de esgoto do município de Almirante Tamandaré, também da (RMC) e será denominado aqui como Pinhais, conforme caracterização no Quadro 1 e 2.

Foram determinados os sólidos totais (ST), sendo em seguida alcalinizados em laboratório pelo processo de estabilização alcalina prolongada (EAP), que consistiu na incorporação de cal na proporção de 50% da massa de ST nos lodos úmidos, misturados manualmente, com posterior período de cura de trinta dias.

**Quadro 1. Características dos lodos brutos desaguados e alcalinizados de cada região, da cal e do calcário utilizados no experimento**

Lodo Bruto Desaguado	Fonte de Lodo de Esgoto		
	Umuarama	Pato Branco	Pinhais
ST <sup>1</sup> (%)	83,86	42	36,41
pH	5,7	4,89	6,81
Idade (dias)	19	92	54
<b>Lodo Caleado a 50% ST</b>			
pH	11,24	9,49	9,7
PN <sup>2</sup> (% Eq. CaCO <sub>3</sub> )	39,13	31,0	29,4
	<b>Cal</b>	<b>Calcário</b>	
pH	12,3	9,5	
PN <sup>2</sup> (% Eq. CaCO <sub>3</sub> )	124	101,8	
PRNT <sup>3</sup> (%)	105,1	101,3	

<sup>1</sup>ST = Sólidos totais; <sup>2</sup>PN = Poder de neutralização; <sup>3</sup>PRNT = Poder relativo de neutralização total.

Fonte: Pontoni (2011)

As amostras de solos receberam as duas fontes de corretivo, o calcário e os lodos de esgoto alcalinizados nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200%, (Quadro 3), equivalentes às quantidades necessárias para elevar o pH dos solos a 5,5 aos 60 dias, estas quantidades foram estabelecidas através da curva de elevação de pH para cada solos, em pesquisa de Serrat et al. (2011). Após o encerramento do experimento de primeiro cultivo as amostras dos solos após revolvimento para extração e análise das raízes, permaneceram nos vasos dentro da casa de vegetação para total desidratação por um período de seis meses, quando então, foram

embaladas em sacos plásticos e armazenadas em depósito no SCA por 24 meses até o início do segundo cultivo.

**Quadro 2. Teores totais de macro e micronutrientes presentes nos lodos de Umuarama, Pato Branco e Pinhais e utilizados nas respectivas amostras de solos da mesma região**

	Lodo de Esgoto Alcalinizado		
	Umuarama	Pato Branco	Pinhais
	<b>Macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>)</b>		
Carbono	152	145	113
Nitrogênio	12,4	14,0	8,8
Relação C/N	12,2	10,3	12,8
Fosforo	1,8	2,6	1,5
Potássio	0,9	1,3	0,8
Cálcio	63,9	49,0	54,4
Magnésio	34,1	28,0	31,2
	<b>Micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>)</b>		
Cobre	112	80	112
Ferro	5498	8038	8560
Manganês	135	123	124
Zinco	113	168	84

Fonte: Pontoni (2011)

**Quadro 3. Quantidades de lodos de esgotos alcalinizados e calcário, aplicados nos três solos obtidas através da curva de elevação de pH até 5,5 de cada solo**

Tratamentos	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
	LVd textura média	LVdf muito argiloso	LBw argiloso
	Mg ha <sup>-1</sup>		
T0	0,00	0,00	0,00
L50	3,20	17,43	18,15
L100	6,40	34,86	36,29
L150	9,60	52,29	54,44
L200	12,80	69,72	72,60
C100	3,12	10,77	12,40

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário, obtido pelo método da Incubação, calculado para 20 cm de profundidade.

Fonte: Pontoni (2011)

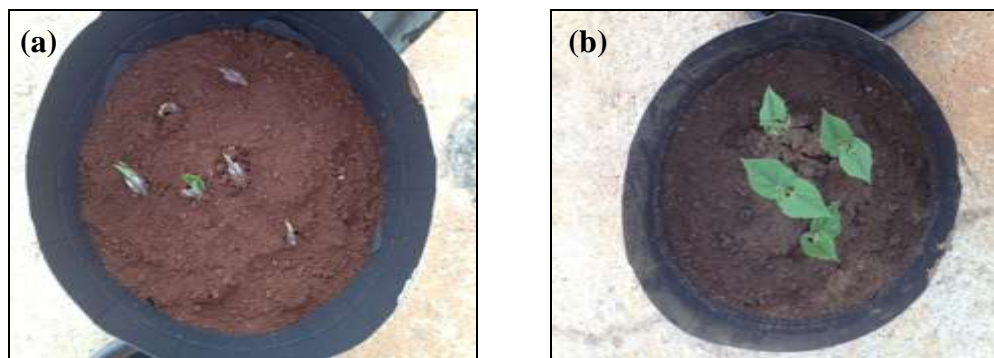
### **CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO RESIDUAL (Segundo cultivo)**

Utilizou-se para a continuidade em segundo cultivo, o delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e três repetições, considerando as amostras de solo de cada localidade como um experimento. Para isso utilizou-se os seguintes tratamentos anteriores: 0, 50, 100, 150 e 200% para os lodos de esgoto alcalinizados e uma dose de 100% para o calcário.

As amostras dos solos foram homogêneas por tratamento e em seguida tamisadas em peneira de 4 mm. Foram então reidratadas até 60% da capacidade de campo, (ativação das amostras de solo). Os três experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do SCA, da UFPR, em Curitiba-PR. As amostras dos solos foram acondicionadas em vasos plásticos com 28cm de diâmetro e capacidade de 2,3 dm<sup>3</sup> que constituíram assim as unidades experimentais (18 parcelas/experimento) (Figura 1). O plantio ocorreu no dia 01 de novembro de 2012, nos vasos (Figura 2). Foi realizada adubação de base somente para potássio de acordo com a análise química de cada solo com cloreto de potássio, seguindo recomendação do IAPAR (2003), para o estado do Paraná. Foi realizada a inoculação das sementes com *Rhizobium tropici*. Foi utilizada a cultivar IPR-Tuiuiu por ser cultivada na região. Após 9 dias da semeadura foi realizado desbaste (Figura 2) permanecendo 2 plantas por vaso.



**Figura 1.** Experimentos instalados na casa de vegetação, com LVd textura média de Umuarama, LVdf muito argiloso de Pato Branco e LBw argiloso de Pinhais, respectivamente.



**Figura 2.** Emergência do feijoeiro em LVdf muito argiloso (a); plântulas de feijoeiro em LBw argiloso (b)

## ANÁLISES QUÍMICAS E FITOTÉCNICAS

### Caracterização química inicial dos solos

O Quadro 4 apresenta caracterização química inicial, a qual foi realizada por tratamento e antes da implantação do segundo cultivo dos solos laboratório de química e fertilidade do solos e engenharia agrícola do setor de ciências agrárias da UFPR.

### Carbono orgânico total e pH do solo

A determinação do carbono orgânico total do solo (COT) no início e ao final do experimento, foram realizados com amostras de solo em triplicata, por oxidação do carbono por via úmida, método desenvolvido por Walkley & Black, conforme descrito por Tedesco (1995). O pH foi determinado em solução  $\text{CaCl}_2$  no pH ajustado a 5,5 e 0,01 M, e também pelo método SMP pH ajustado a 7,5 através de leitura em peagâmetro.

### Quadro 4. Caracterização química inicial das amostras de solos, por tratamento

Tratamentos	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média											
	(CaCl <sub>2</sub> ) pH	SMP pH	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					K <sup>+</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		g dm <sup>-3</sup>	%
			H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CTC		P	C		
T0	4,1	5,9	5,4	0,7	1,1	0,4	0,1	2,3	39,1	23,2	30,4	
L50	4,3	6,4	3,7	0,3	2,4	0,8	0,1	3,6	45,3	29,7	8,3	
L100	4,7	6,4	3,7	0,1	2,7	1,1	0,1	4,0	40,8	31,6	2,5	
L150	5,0	6,8	2,7	0,1	3,1	1,4	0,1	4,7	35,4	35,1	2,1	
L200	5,4	6,8	2,7	0,0	2,9	2,6	0,1	5,6	40,2	37,6	0,0	
C100	4,9	6,4	3,7	0,0	1,8	1,7	0,1	3,6	37,4	30,2	0,0	
LATOSSOLO VERMELHO Distroférico muito argiloso												
T0	3,7	4,6	14,1	3,9	0,5	0,3	0,1	4,8	16,6	38,1	81,2	
L50	4,4	5,2	9,7	0,7	4,5	2,6	0,2	8,0	14,3	38,7	8,7	
L100	4,7	5,8	5,8	0,2	6,1	4,6	0,2	11,1	13,9	41,0	1,8	
L150	5,1	6,0	5,0	0,1	7,4	5,9	0,1	13,5	12,9	41,2	0,7	
L200	5,8	6,4	3,7	0,0	9,4	6,2	0,1	15,7	20,4	44,7	0,0	
C100	5,1	5,7	6,2	0,1	5,2	4,8	0,1	10,2	11,0	40,4	0,9	
LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso												
T0	4,1	4,7	13,1	2,5	2,9	1,4	0,1	6,9	17,1	47,7	36,2	
L50	4,1	5,8	5,8	0,5	5,0	2,8	0,2	8,5	16,8	48,7	5,9	
L100	5,0	4,5	5,2	0,1	6,4	4,3	0,2	11,0	13,9	50,0	0,9	
L150	5,4	6,5	3,4	0,1	8,8	6,8	0,1	15,8	13,6	49,9	0,6	
L200	6,3	6,8	2,7	0,0	11,4	6,4	0,1	17,9	16,6	50,5	0,0	
C100	5,3	5,8	5,8	0,0	7,0	5,2	0,1	12,3	19,2	49,5	0,0	

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. CTC= CTC efetiva do solo. m= saturação por alumínio. Análises da planta

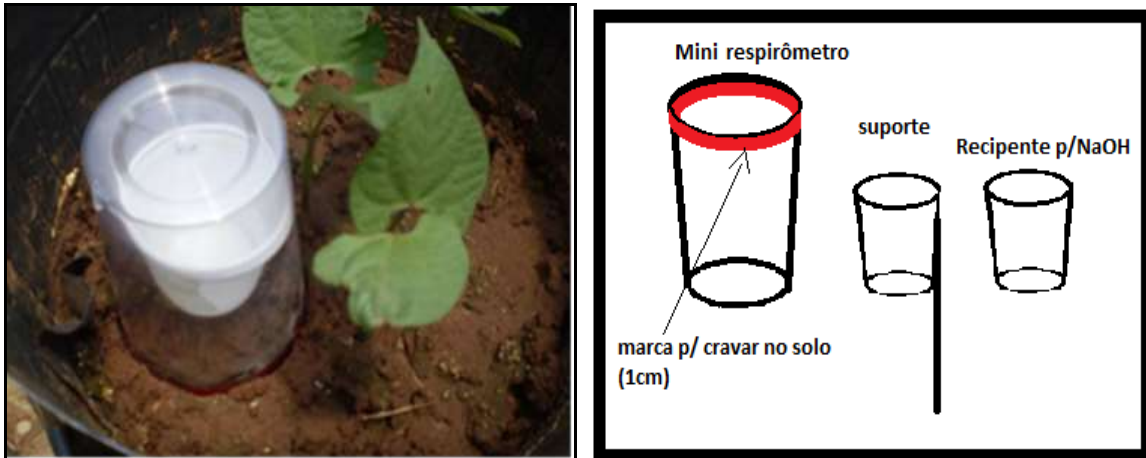
O encerramento dos experimentos foi realizado aos 64 dias do plantio, com as plantas do feijoeiro em início do estágio R7 (formação das primeiras vagens), foi determinada para todas as repetições, a matéria seca da parte aérea (MSPA) pesando as plantas úmidas assim que foram cortadas na altura do colo, permaneceram para secagem em estufa a 65°C por 72 horas e após foram pesadas novamente para determinação do peso seco.

Ao finalizar os experimentos, o volume de raízes foi determinado com a separação das raízes do solo e passaram por uma sequência de lavagens com água, em seguida foram mergulhadas individualmente em uma proveta de 500mL, contendo 200mL de água e o cálculo foi feito a partir do deslocamento deste volume de água conhecido. Para a análise estatística dos dados de volume de raízes do solo LVd textura média e para o LVdf muito argiloso, os dados foram transformados utilizando-se raiz quadrada pela fórmula ( $x=\sqrt{x}$ ), para que seguissem uma distribuição normal, nos resultados e discussões foram preservados os dados originais obtidos.

## **ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DOS SOLOS**

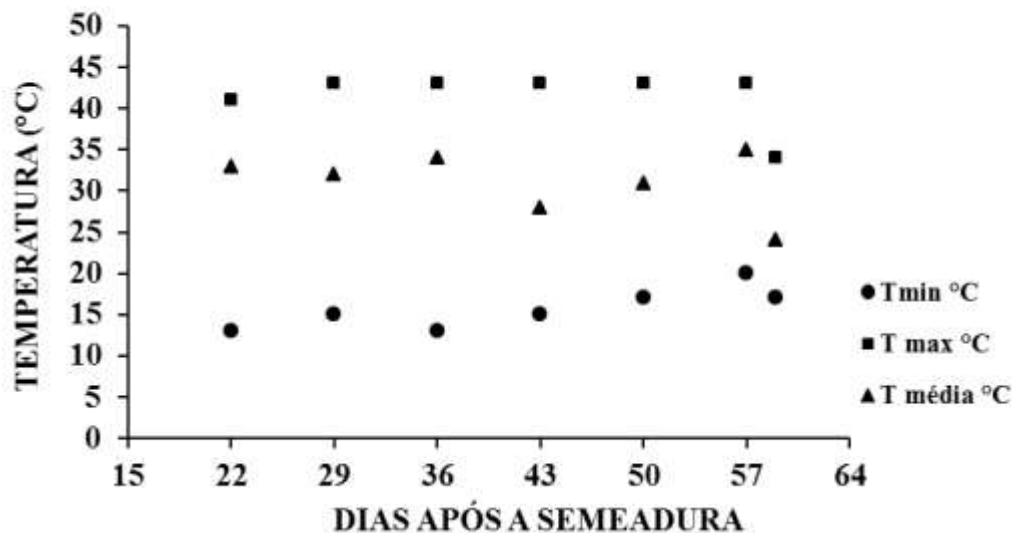
### **Respiração edáfica**

A partir do raleio das plantas, foram instalados mini respirômetros (câmaras) para a leitura da respiração edáfica (RE). O método utilizado foi adaptado da metodologia descrita por Grisi (1995). O material necessário à aplicação do método constou de uma câmara ou cilindro de cobertura (“cilindro invertido”) e de um recipiente para a solução de hidróxido de sódio (NaOH) (0,5 N) (Figura 3). As provas em branco foram instaladas nas mesmas condições, exceto por um plástico vedando o solo em vasos sobressalentes. As câmaras para captura do CO<sub>2</sub> liberado foram instaladas semanalmente, permanecendo por um período de 48 horas. Passado o período, o recipiente contendo o NaOH era retirado, acrescido de 2,0 mL cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>) para precipitação de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Levado imediatamente ao laboratório para a titulação com ácido clorídrico (HCl) (0,5 N), tendo a fenolftaleína 1% como indicador.



**Figura 3. Mini respirômetro, (câmara) utilizada para determinação da respiração edáfica**

Foram acompanhadas as temperaturas, mínimas, médias e máximas dentro da casa de vegetação em cada data de determinação edáfica (Figura 4).



**Figura 4. Temperatura máxima, média e mínima nas datas de determinação da respiração edáfica.**

### **Respiração basal**

Foram realizadas duas determinações da respiração basal (RB) do solo, a primeira foi incubada 15 dias após a reidratação das amostras de solo, que haviam permanecido armazenadas desidratadas por 30 meses desde o final do primeiro cultivo. A segunda determinação foi no encerramento do experimento. O método utilizado é descrito por Alef (1995), que baseia-se na captura de CO<sub>2</sub> liberado do solo, por uma solução de NaOH. As análises foram realizadas no laboratório de biologia do solo da UFPR.



### **Biomassa microbiana do solo**

As determinações da biomassa microbiana do solo (BMS) foram realizadas em dois períodos, inicialmente 12 dias após o reumidecimento das amostras de solo e a segunda no encerramento do experimento. Foi seguido o método descrito por Anderson & Domsch (1978) o qual, baseia-se na Respiração Induzida por Substrato (RIS) que refere-se à resposta inicial respiratória máxima (4 horas), induzida por uma fonte de carbono prontamente decomponível (glicose 1%) adicionada em excesso ao solo.

### **Quociente metabólico**

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi determinado pela relação do carbono da respiração basal (RB) pelo carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) por unidade de tempo, conforme proposto por Anderson & Domsch (1993). Este parâmetro foi calculado para inferir a utilização do carbono pela biomassa microbiana do solo e pode ser usado para avaliar o aproveitamento desse carbono por esta biomassa. De um modo geral, solos com baixo quociente metabólico estão próximos do estado de equilíbrio. Para a análise estatística dos dados de quociente metabólico para os três solos, os mesmos foram transformados utilizando-se raiz quadrada pela fórmula ( $x=\sqrt{x}$ ), para que seguissem uma distribuição normal, nos resultados e discussões foram preservados os dados originais obtidos.

## **ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

Para as análises estatísticas foi testado à normalidade dos erros de acordo com Shapiro Wilk. Para cada variável realizou-se a análise de variância, seguida das comparações de médias pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). Os tratamentos de referência lodo (L100) e calcário (C100), foram comparados pelo teste “t” ( $p<0,05$ ). Avaliaram-se os coeficientes de correlação linear de Pearson, entre doses de lodos de esgoto e variáveis de plantas, solo e microbiológicas. Para as análises estatísticas utilizou-se o Programa ASSISTAT 7.6 (Silva & Azevedo, 2009).

## **1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como cada experimento avaliado foi composto de um solo distinto que recebeu lodo de esgoto alcalinizado de origem também distinta e em quantidade diferente, conforme

descrito no material e métodos, os resultados das variáveis estudadas serão apresentados e discutidos separadamente por tipo de solo (regiões distintas) e posteriormente serão analisados conjuntamente em uma síntese.

### **1.3.1 Solo LVd textura média e Lodo da região de Umuarama**

#### **Matéria seca da parte aérea e volume de raízes**

A média da matéria seca da parte aérea, (MS), volume de raízes (VR), carbono orgânico total (COT) e pH do solo ao final do experimento estão apresentados no Quadro 5.

Para a matéria seca da parte aérea houve resposta significativa em relação à testemunha a partir da dose de referência de lodo de esgoto alcalinizado L100, enquanto a dose referência de calcário C100, ao final do segundo cultivo não apresentou resposta de efeito residual. Como todos os vasos receberam adubação de base, inclusive a testemunha, observa-se o efeito residual das doses de lodo de esgoto alcalinizado sobre o desenvolvimento da parte aérea da planta. Resultados esses, que corroboram com os verificados por Losada et al. (2011) avaliando doses de lodo de esgoto e calcário em solo de textura arenosa em sistema silvipastoril.

Porém, os resultados são diferentes dos encontrados por Correa et al. (2008) que comparando a ação de lodo centrifugado e calcário como corretivos do solo em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média com cultivo de forrageira, encontrou respostas para matéria seca da parte aérea nos dois corretivos.

O volume de raízes apresentou resposta às maiores doses de lodo (L150 e L200) e também ao calcário (C100). Esse resultado pode estar associado à solubilidade mais lenta do calcário, que após dois cultivos, na dose de referência se igualou as maiores doses de lodo. Tal comportamento está de acordo com as respostas constatadas por Correa et al. (2008) que também obtiveram resultados de crescimento radicular para os dois corretivos.

Segundo Carvalho et al. (2004), uma vantagem de corretivos que contém óxidos e hidróxidos, como a cal presente no lodo alcalinizado é a maior solubilidade obtendo assim, a redução da acidez mais rapidamente e em subsuperfície, fato que favorece o crescimento radicular em maiores profundidades.

Além da ação corretiva do lodo de esgoto alcalinizado, ocorre também à disponibilidade de nutrientes presentes nos compostos orgânicos do lodo de esgoto. Tamanini et al. (2008) estudando recuperação de áreas terraplanadas, compararam doses crescentes de

lodo de esgoto alcalinizado com calagem mais fertilização mineral e observaram aumentos na disponibilização de nutrientes como fósforo e cálcio, para os tratamentos com lodo. Portanto, o resultado mostra que o efeito residual das maiores doses de lodo sobre a MS da planta provavelmente está relacionado às diferenças na composição dos dois corretivos, e pode estar ocorrendo a mineralização gradual dos nutrientes contidos no lodo de esgoto. (Pontoni, 2011; Andrade et al., 2013).

**Quadro 5. Matéria seca da parte aérea (MSPA) e volume de raízes (VR) de plantas de feijoeiro, carbono orgânico total (COT) e pH do solo, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L) e dose de calcário (C), no solo LVd textura média da região de Umuarama**

Tratamentos	<u>LVd textura média de Umuarama</u>			
	Planta		Solo	
	MS (g)	VR (dm <sup>-3</sup> )	COT (g dm <sup>-3</sup> )	pH CaCl <sub>2</sub>
T0	10,57 c	14,67 b	28,5b	4,0 f
L50	11,38 bc	18,67 b	29,1b	4,3 e
L100	13,14 ab	21,67 b	30,1ab	4,5 d
L150	13,33 ab	34,33 a	33,1a	4,9 b
L200	13,67 a	33,67 a	30,7ab	5,3 a
C100	11,84 abc	33,67 a	28,4b	4,7 c
CV %	5,94	14,33	4,88	0,96

T0-Testemunha; L-lodo50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. Ambos obtidos pelo método de incubação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Neste estudo, os efeitos do lodo de esgoto verificados sobre o desenvolvimento da planta para o solo LVd textura média, estão de acordo com os encontrados por Andrade et al. (2013), e indicam que o lodo, além de corrigir a acidez do solo também disponibiliza nutrientes, verificado pelo aumento nos valores da CTC com o aumento das doses de lodo (Quadro 4).

Porém, os resultados verificados estão diferentes dos encontradas por Pontoni (2011) no primeiro cultivo, o autor não encontrou respostas para MS e VR no solo LVd textura média, esta diferença pode estar relacionada ao tempo de solubilização dos corretivos no solo (Alcarde & Rodella, 2003).

**Carbono orgânico total e pH do solo**

Para o solo LVd textura média houve resposta na dose que recebeu 150% de lodo, mostrando que houve efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado sobre o carbono orgânico deste solo. O C orgânico atua diretamente na estabilidade dos agregados e promove aumento da proteção física da matéria orgânica, estabelecendo assim uma relação causa-efeito entre

agregados e matéria orgânica do solo. O solo de textura média possui menor quantidade de complexos argilo-minerais apresentando menor proteção física da matéria orgânica (Costa et al., 2004). Portanto, a adição de materiais orgânicos atua também diretamente na redução da fragilidade, melhorando a conservação destes solos.

A resposta significativa para o C no tratamento L150 para este solo, pode estar relacionada aos resultados da biomassa microbiana do solo e do pH. Para o carbono orgânico e para a BMS, seriam esperadas maiores respostas do tratamento L200, porém os resultados de pH mostram valores de pH mais ácido para a dose que recebeu 150% de lodo alcalinizado, comparado a dose que recebeu 200%. Provavelmente, em função do pH do solo mais baixo neste tratamento, ocorreu o predomínio de fungos em relação as bactérias, e esses possuem massa total superior à das bactérias (Moreira & Siqueira, 2002), o que se reflete nas maiores respostas do tratamento L150 para carbono e também para biomassa microbiana.

O resultado de carbono encontrado para estes solo pode também estar associado às respostas de desenvolvimento das plantas (MS e VR), onde as variáveis apresentaram diferenças significativas nas maiores doses de lodo e ambos tiveram fortes correlações com o carbono (Quadro 6). O carbono orgânico apresentou também forte correlação significativa com a respiração edáfica média, concordando com os resultados verificados por Nogueira (2008), indicando assim, as interações dinâmicas e sinérgicas que podem ocorrer entre planta, solo e microrganismos no ambiente edáfico.

Para o pH do solo LVd textura média, as doses de referência (L100 e C100) que foram corrigidas com os valores obtidos pelo método da incubação e receberam quantidades de  $6,40 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto alcalinizado e  $3,12 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário, não conseguiram manter o pH inicial pretendido (pH 5,5) já ao final do primeiro cultivo. Mesmo a dose que recebeu o dobro da quantidade de lodo (L200) e que apresentava nessa época o valor de pH de 5,4, após o segundo cultivo apresenta valor médio de pH de 5,28, como reflexo das constantes reações de retorno ao equilíbrio químico que ocorrem no solo em direção ao seu estado natural, provocando modificações do pH (Ernani, 2008).

Ocorreram variações distintas no pH entre todos os tratamentos, apesar da quantidade de lodo de esgoto alcalinizado que este solo recebeu na dose de 100% ter sido somente  $6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ , na dose de referência, (100% para elevar o pH a 5,5 pelo método da incubação), provavelmente as variações estão associadas com a baixa capacidade tampão deste solo de textura média (teor de argila de  $200 \text{ g Kg}^{-1}$ ) do noroeste do Paraná, originados a partir de rochas sedimentares arenosas da Formação Caiuá (Sambatti et al., 2003).

A dose referência corrigida com calcário (C100) também diferiu estatisticamente dos demais tratamentos e apresentou-se com pH médio entre as doses L100 e L150. Isto ocorreu devido à baixa solubilidade do calcário, refletindo a influência da solubilidade do corretivo no ambiente radicular para o solo LVd textura arenosa, que recebeu menos corretivo.

O carbonato de cálcio e magnésio, presente no calcário apresenta menor solubilidade, portanto maior tempo para reação no solo, ao contrário do hidróxido de cálcio presente no lodo de esgoto alcalinizado, que permite a correção da acidez do solo de forma mais rápida (Alcarde & Rodella, 2003).

Houve significativa correlação entre o pH do solo e a matéria seca da parte aérea e o volume de raízes (Quadro 6).

**Quadro 6. Coeficientes de correlação linear simples entre os fatores estudados para efeito residual de doses de lodo esgoto alcalinizado usado como corretivo do solo em cultivo de feijoeiro**

LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média (LVd textura média)									
	MS	VR	BMI	BMF	RBI	RBF	REM	pH F	COTF
<b>VR</b>	0,770*	1,000							
<b>BMI</b>	ND	ND	1,000						
<b>BMF</b>	0,620**	0,761**	ND	1,000					
<b>RBI</b>	ND	ND	0,522*	ND	1,000				
<b>RBF</b>	0,6578**	0,379ns	ND	0,660**	ND	1,000			
<b>REM</b>	0,824**	0,882**	0,738**	0,822**	0,766**	0,467ns	1,000		
<b>pH F</b>	0,811**	0,877**	0,756**	0,803**	0,659**	0,502*	0,820**	1,000	
<b>COTF</b>	0,600*	0,794**	0,423ns	0,549*	0,417ns	0,195ns	0,648**	0,523*	1,000
<b>LODO</b>	0,850**	0,866**	0,264*	0,826**	0,936**	0,864*	0,862**	0,996**	0,664*

\* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. MS= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final; REM= respiração edáfica média; pH F= pH final; COTF= carbono orgânico final e LODO= doses de lodo.

As correlações indicam a importância da correção da acidez para o desenvolvimento da planta (Correa et al., 2008; Ernani, 2008), no caso deste estudo, indica que a cultivar de feijão IPR-Tuiuiu, respondeu a alcalinização do solo, mesmo esta cultivar possuindo tolerância a acidez do solo (IAPAR, 2013). Souza et al. (2011) estudando calagem em feijoeiro verificou que a cultura foi responsiva à aplicação de calcário em diferentes teores de pH. Segundo o autor um dos fatores que devem ser levados em conta no plantio do feijoeiro é o sistema radicular pouco profundo. De posse dessa informação vale destacar a importância da alcalinização ou correção, assegurando que as raízes não tenham impedimento químico para a exploração do máximo volume de solo (Ernani, 2008).

Diversos autores verificaram que a aplicação ao solo de resíduos orgânicos alteram a atividade microbiana e apresentam correlação forte com outros atributos do solo, entre eles o pH (Catelan & Vidor, 1997; Andrade et al., 2006; Ernani, 2008; Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008; Modesto et al., 2009).

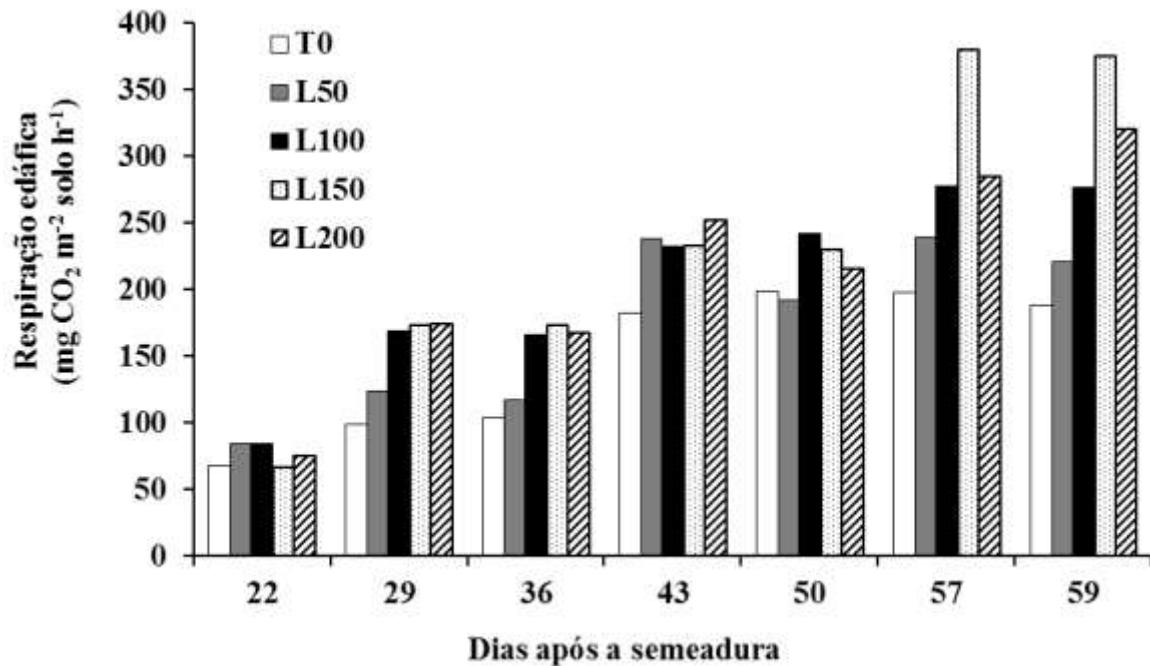
A forte correlação verificada do pH com todas as variáveis de atividade da microbiota neste solo LVd textura média reforça a importância da correção da acidez como uma das condições essenciais na estabilidade da comunidade microbiana em solos agrícolas (Cattelan & Vidor, 1997; Modesto et al., 2009).

## **Atividade microbiológica**

### **Respiração edáfica**

Os dados de respiração edáfica para o solo LVd textura média, apresentados na Figura 4 mostram uma análise fatorial entre as doses de lodo de esgoto alcalinizado e as datas de determinação durante todo o tempo do experimento. O tratamento de referência com calcário (C100) não foi incluído nesta análise.

Houve aumento no CO<sub>2</sub> liberado para todos os tratamentos com a evolução do cultivo e respostas significativas em relação à testemunha para os tratamentos com maiores quantidades de lodo de esgoto, indicando que houve para este solo, estímulo da atividade microbiana com o aumento das doses de lodo e o estabelecimento da rizosfera, verificado pelas respostas da interação (doses e tempo).



	22	29	36	43	50	57	59
<b>T0</b>	a B	b B	b B	b A	a A	c A	d A
<b>L50</b>	a C	ab BC	ab C	ab A	a AB	bcA	cd A
<b>L100</b>	a D	a BC	ab C	ab ABC	a AB	b A	bc A
<b>L150</b>	a C	a B	a B	ab B	a B	a A	a A
<b>L200</b>	a D	a C	ab C	a AB	a BC	b AB	ab A

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. As médias seguidas pela mesma letra (minúscula na coluna e maiúscula na linha) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

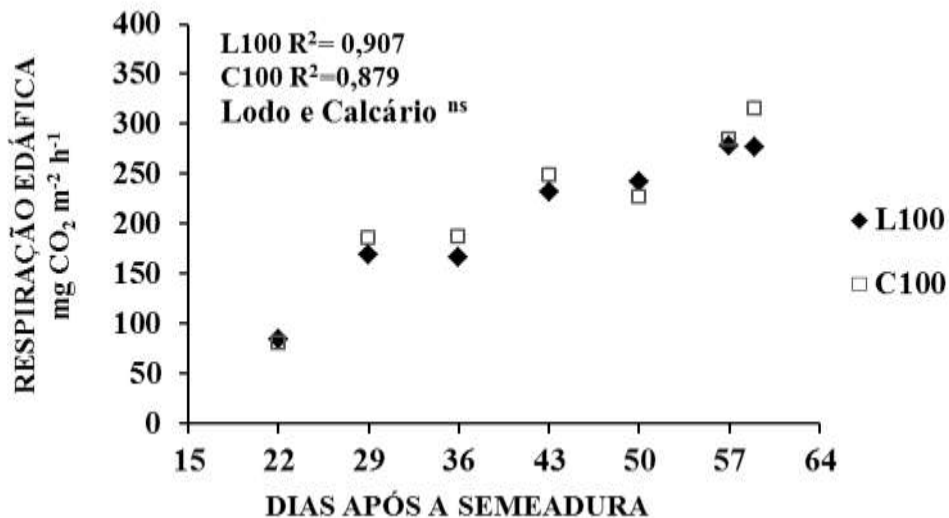
**Figura 5. Interação de efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado com as datas de determinação de respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVd textura média de Umuarama.**

Com o decorrer do tempo, também houve resposta significativa das mesmas doses nas diferentes datas de determinação, com destaque para o efeito residual do tratamento L150 para os dois últimos períodos de avaliação. Mesmo com aplicação de menos de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto alcalinizado na dose de referência (L100), apresentaram nestas condições, efeito residual das doses sobre esta variável de atividade microbiana. Esta resposta, também é explicada pela correlação apresentada no Quadro 6, que ocorreu entre a respiração edáfica

média (REM) e as doses de lodo ( $r = 0,862$ ) e da respiração edáfica média com o desenvolvimento da planta (MS,  $r = 0,824$ ; VR,  $r = 0,882$ ).

Os resultados corroboram com os encontrados por (Benvinda, 2005; Farias et al., 2005), que verificaram maiores respostas para respiração edáfica durante o período de máxima produção de raízes.

A resposta verificada para os dois corretivos lodo e calcário, (Figura 6), nos tratamentos de referência L100 e C100 respectivamente, (obtidos através do método da incubação para elevar o pH até 5,5), mostra que os dois corretivos tiveram desempenho semelhante, sem apresentar diferença significativa. Portanto, verificando os resultados da interação apresentada na figura 5, onde a dose de referência de lodo L100 apresentou valores em elevação no decorrer do tempo e a partir dos 57 dias da semeadura apresentou diferença em relação à testemunha, pode-se inferir que no caso deste solo os dois corretivos, com o mesmo comportamento, ainda mostraram efeito residual sobre a respiração edáfica no segundo cultivo.



**Figura 6. Efeito residual das doses de referência, de lodo de esgoto alcalinizado (L100) e dose de calcário (C100), sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVd textura média de Umuarama, (<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.**

Relações benéficas, patogênicas e neutras são reguladas por sinais moleculares que ocorrem neste ambiente (Silveira & Freitas, 2007). No caso deste estudo, provavelmente o incremento de compostos orgânicos adicionados através do lodo tenham beneficiado diretamente a comunidade microbiana e o desenvolvimento da planta, esta por sua vez,



novamente beneficiou a comunidade microbiana a partir das relações entre os substratos orgânicos das raízes e a população microbiana. Contudo Coelho et al. (2007) relatam que estas respostas podem ser tanto positivas como negativas, estimulando o crescimento de um gênero e podendo causar inibição do crescimento de outro.

### **Respiração basal**

Para o parâmetro RB no LVd textura média, houve ausência de resposta na determinação inicial (Figura 6). Este resultado provavelmente está relacionado ao fato das amostras de solo terem permanecido armazenadas desidratadas por um longo período, conforme citado no material e métodos. O conteúdo de água no solo é determinante sobre a comunidade microbiana presente, causando variações sazonais nas propriedades bioquímicas e na manutenção da integridade da superfície celular da biomassa microbiana do solo (Moreira & Siqueira, 2006), o *turnover* ou giro metabólico é controlado pelo ciclo de secagem e reumidecimento do solo (Gonçalves et al., 2007). Esses autores observaram ocorrer à seleção de microrganismos adaptados a condições adversas tolerantes a dessecação, porém com o restabelecimento da umidade esta condição é revertida rapidamente.

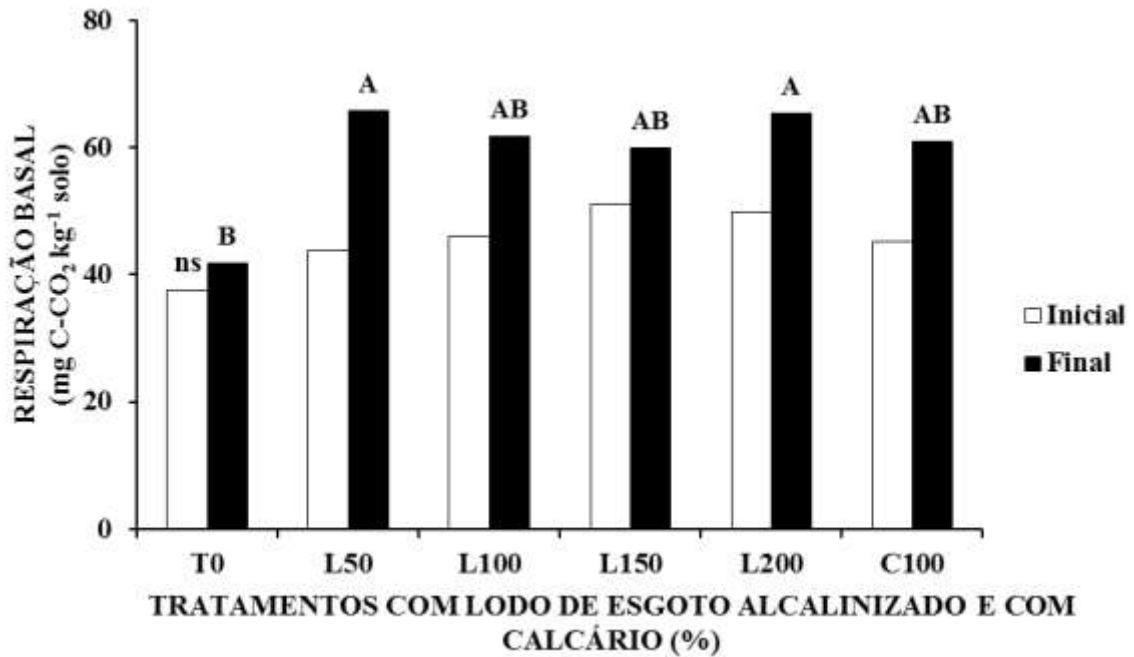
Alves et al. (2011), estudando a atividade microbiana em sistemas de manejo em condições de campo, também atribuiu as diferenças dos resultados aos períodos de coleta, com diferentes condições de umidade do solo (estiagem e chuva).

No caso deste estudo, a determinação inicial foi realizada 15 dias após o reumidecimento das amostras e pode não ter decorrido tempo suficiente para resposta das populações microbianas à influência dos corretivos. Com o avanço do cultivo e à medida que a rizosfera se estabeleceu, devolveu condições favoráveis à atividade microbiana, verificado nas respostas obtidas na determinação ao final do experimento (Figura 6). Para a determinação final da respiração basal no solo LVd textura média, houve elevação do CO<sub>2</sub> liberado para todos os tratamentos, inclusive o que recebeu calcário, porque a taxa foi mais alta aos 64 dias, porém, sem diferença significativa entre eles, somente os tratamentos L50 e L200 foram superiores ao T0, demonstrando que mesmo com pequena quantidade de lodo alcalinizado recomendado, ainda apresentou efeito residual sobre a atividade metabólica da microbiota deste solo.

Estudos com aplicação de lodo de curtume foram realizados por Konrad & Castilhos (2002) os quais, verificaram acréscimo na produção de CO<sub>2</sub> liberado para respiração basal a medida que houve aumento das doses de lodo aplicados ao solo, até os primeiros 50 dias,

ocorrendo após um decréscimo na liberação de CO<sub>2</sub>, os autores justificaram a redução em decorrência da diminuição do carbono prontamente oxidável.

Vieira et al. (2011) pesquisando lodo efluente de parboilização de arroz encontraram atividade microbiana mais expressiva nos primeiros dias de incubação, ocorrendo após, também decréscimo na liberação de CO<sub>2</sub>.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final).

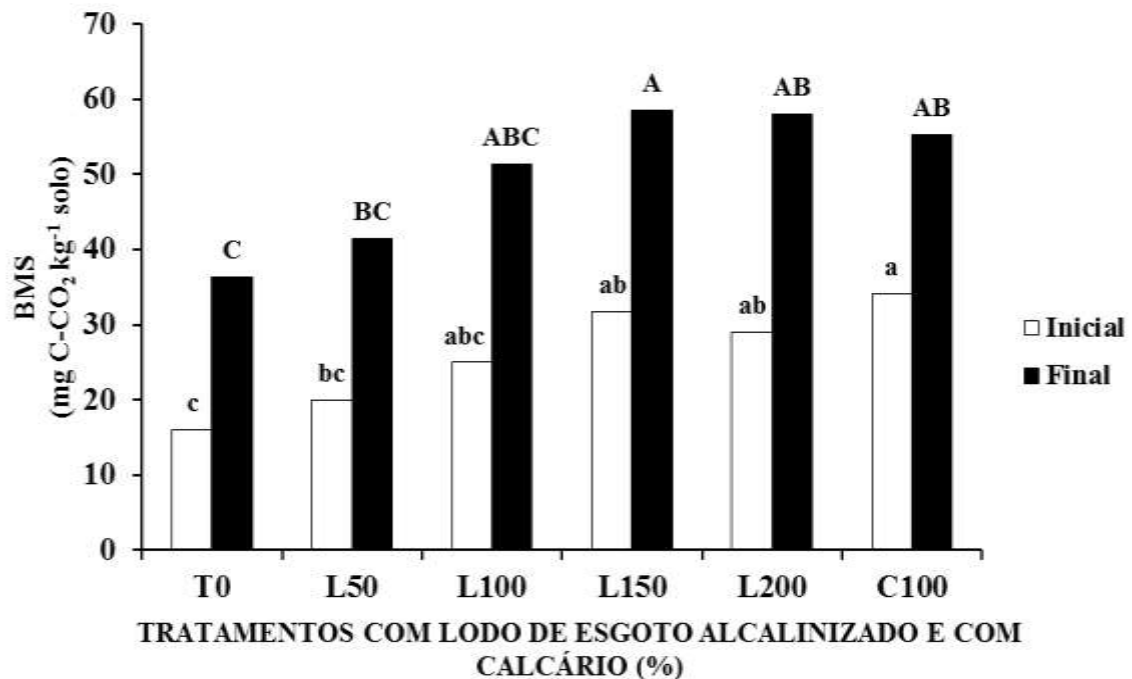
**Figura 7. Respiração Basal do solo LVd textura média em dois períodos de determinação, sob efeito residual de tratamentos com lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha. Período de incubação de sete dias.**

As doses de referência, de 100% para lodo e para calcário, após o segundo cultivo já não influenciaram a respiração basal, reforçando a importância da necessidade constante de correção da acidez do solo para a atividade microbiana neste solo que responde a baixas quantidades de corretivo.

Neste solo de textura média a respiração basal não apresentou interação na quantidade de CO<sub>2</sub> desprendido entre a determinação inicial, no plantio e a determinação final, aos 64 dias.

### Biomassa microbiana do solo

Os resultados para a BMS (Figura 7), para o LVd textura média na avaliação inicial e na avaliação final, apresentaram a mesma tendência, com respostas significativas ( $p < 0,05$ ), para os tratamentos com as maiores doses de lodo L150 e L200 e para a dose de calcário C100, em relação ao tratamento controle.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final).

**Figura 8. Variação da Biomassa Microbiana do solo LVd textura média nos dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha**

Os maiores valores foram obtidos para os tratamentos L150 e L200 ao final do experimento. Esses resultados provavelmente indicam aumento da comunidade de microrganismos do solo, em decorrência do aumento da atividade microbiana estimulada pelos efeitos residuais positivos da correção da acidez do solo através do calcário e do lodo alcalinizado, bem como do efeito residual de nutrientes contidos nas maiores doses de lodo de esgoto. As maiores respostas na avaliação final também indicam que o cultivo foi benéfico para o aumento da comunidade microbiana do solo. O destaque da maior resposta para o tratamento L150, provavelmente está associado aos resultados de pH, menores para esta dose em relação a dose que recebeu 200% de lodo alcalinizado, propiciando no tratamento L150

maior predominância de fungos, que em geral são mais tolerantes a acidez do que as bactérias e possuem maior massa total por grama de solo, resultando em maior BMS (Moreira & Siqueira, 2002).

Araújo & Monteiro (2006) estudaram o efeito do uso de lodo têxtil sobre os microrganismos e verificaram aumento na biomassa microbiana do solo, na atividade microbiana e no número de bactérias, melhorando a capacidade de reciclagem do carbono do solo.

A adição de material orgânico de fácil assimilação, como o lodo de esgoto disponibiliza nutrientes e carbono para a microbiota do solo, atuando ainda nas condições do solo como estrutura, pH, umidade e temperatura, condições estas que também afetam a atividade microbiana (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008).

Aumentos verificados na biomassa microbiana do solo, responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos, favorecem a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia no ecossistema solo-planta-organismos e atmosfera, além de representar uma maior reserva lábil de carbono e outros nutrientes no solo (Jekinson & Ladd, 1982).

Alves et al. (2011) pesquisando sistemas de manejo em solo arenoso encontrou respostas maiores de biomassa microbiana em sistema de integração lavoura pecuária. O autor atribuiu o resultado ao constante aporte de material orgânico ao solo.

Foram verificadas na primeira leitura, correlações significativas entre a biomassa microbiana do solo, as variáveis da planta, do solo e de atividade microbiana, apresentando correlação forte e significativa com a respiração basal, respiração edáfica, pH do solo e com as doses de lodo. Na determinação ao final do experimento teve correlação significativa com todos os fatores avaliados. Portanto, nas condições deste estudo, houve efeito residual dos tratamentos com as maiores doses de lodo e do tratamento com calcário sobre a biomassa microbiana deste solo, no qual o tratamento (L200) com até duas vezes à dose recomendada estimulou a biomassa microbiana do solo.

### **Quociente metabólico**

O quociente metabólico é calculado como o atributo que permite a identificação da eficiência na utilização de C e energia pela biomassa microbiana presente no solo, podendo refletir o grau de distúrbio ou estresse deste ambiente (Sakamoto & Obo, 1994; Chaer & Tótola, 2007). Anderson & Domsch (1993) propuseram o  $qCO_2$ , definido pela razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo por unidade de tempo. No caso deste estudo

o quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, ambas com valores diários ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de solo dia}^{-1}$ ). Valores mais elevados de  $q\text{CO}_2$ , normalmente, são associados com ecossistemas jovens, submetidos a alguma condição de estresse, enquanto menores valores, normalmente, são associados com ecossistemas maduros e estáveis (Anderson & Domsch, 1993).

A incorporação de resíduos orgânicos ao solo aumenta imediatamente o quociente metabólico (Lin & Brookes, 1999). Balota et al. (1998), encontraram também aumento do quociente metabólico com a substituição da cobertura vegetal do solo em função da aceleração da decomposição. Solos que receberam aporte de carbono, como no caso do lodo de esgoto, podem apresentar aumento da biomassa microbiana e mesmo assim ocorrer diminuição na atividade metabólica, sem indicar a ocorrência de estresse para a comunidade microbiana. Os resultados para o  $q\text{CO}_2$  encontrados no LVd textura média estão apresentados no Quadro 7.

**Quadro 7. Resultados de quociente metabólico do solo ( $q\text{CO}_2$ )**

Tratamentos	LVd textura média de Umuarama						CV%
	T0	$q\text{CO}_2$			C100		
	L50	L100	L150	L200			
	0,0276b	0,0378a	0,0287ab	0,0243b	0,0269b	0,0267b	5,86

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. Dados Transformados pela fórmula  $x=\sqrt{x}$ .

Houve diferença significativa ( $p<0,05$ ) em relação à testemunha somente para o tratamento L50. O tratamento com calcário não apresentou diferença das doses de lodo e da testemunha. Os baixos valores de  $q\text{CO}_2$  em todos os tratamentos indica que menos C foi perdido como  $\text{CO}_2$  pela respiração e uma maior porção de C foi incorporada aos tecidos microbianos, como resultado da ação de uma biomassa microbiana “eficiente” atuando sobre os corretivos adicionados ao solo.

### 1.3.2 Solo LVdf muito argiloso e Lodo da Região de Pato Branco

#### **Matéria seca da parte aérea e volume de raízes**

No Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso, para matéria seca da parte aérea neste segundo cultivo, conforme o Quadro 8, a partir da dose de referência de lodo L100 houve diferença significativa em relação a menor dose de lodo e à testemunha T0, indicando que o grau de limitação imposta pela alta saturação de alumínio (T0= 81,2%) era elevada mesmo com adubação.

Destaca-se o tratamento de lodo L200, que recebeu 200% da dose recomendada (L100 de 34,86 Mg ha<sup>-1</sup>) de lodo de esgoto alcalinizado da respectiva região, para este solo, pois ainda apresentou resultado significativo superior as demais doses. A dose de referência de calcário C100 obteve resposta semelhante à dose equivalente de lodo L100, e ambas superiores à testemunha e apresentaram efeito residual sobre a MSPA.

Estes resultados diferem dos obtidos por Pontoni (2011) para este solo no primeiro cultivo logo após a correção, onde o autor encontrou resposta significativa superior para a massa seca da parte aérea da planta para a dose L150.

Assim como para massa seca da parte aérea, para o VR o lodo aplicado na maior dose L200, mostrou resposta significativamente superior aos demais tratamentos (Quadro 8). As doses de lodo L100 e L150 foram superiores ao controle. Porém no segundo cultivo, não houve resposta da dose de calcário C100 para o VR.

Estes resultados indicam que a correção com o lodo alcalinizado, nas maiores doses, para este solo, ainda apresentaram efeito residual sobre o desenvolvimento da planta, MS e VR, podendo estar relacionados ao alto poder tampão exercido pela grande quantidade de argila presente neste solo, indicando a importância da correção para este tipo de solo (Almeida et al., 1999). Os resultados também podem estar associados as maiores quantidade de lodo que este solo recebeu, proporcionando maior quantidade de nutrientes. Porém Fia et al. (2005) evidenciam que o principal parâmetro para a utilização do lodo de esgoto alcalinizado, deve ser por suas características como corretivo e não somente como fornecedor de nutrientes para o solo.

#### **Carbono orgânico total e pH do solo**

Os resultados do carbono orgânico total não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 8). As respostas foram bastante homogêneas, indicando estabilidade do sistema solo em relação ao carbono, independente das doses adicionadas

através do lodo de esgoto. Os resultados estão de acordo com os verificados por Andrade et al. (2006) estudando efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado sobre o estoque de carbono orgânico em Latossolo.

**Quadro 8. Matéria seca da parte aérea (MSPA), volume de raízes (VR) de plantas de feijão, pH do solo e carbono orgânico total (COT) do solo sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado e calcário**

Tratamentos	<u>Solo LVdf muito argiloso de Pato Branco</u>			
	Planta		Solo	
	MSPA (g)	VR (dm <sup>-3</sup> )	COT (g dm <sup>3</sup> )	pHCaCl <sub>2</sub>
T0	8,55 d	11,10 c	38,3 a	3,6 e
L50	9,07 cd	15,25 bc	36,6 a	4,2 d
L100	9,32 c	18,85 b	36,9 a	4,6 c
L150	10,45 b	18,85 b	37,8 a	5,0 b
L200	12,10 a	30,65 a	39,1 a	5,4 a
C100	9,32 c	14,70 bc	37,9 a	4,6 c
CV %	2,81	10,61	2,46	0,95

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. \*Dados transformados ( $x=\sqrt{x5}$ ). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Verificando dados do trabalho anterior realizado por Pontoni (2011), foi possível calcular as quantidades de C adicionadas através da aplicação dos lodos de esgoto alcalinizados. Para o LVdf muito argiloso, na dose de referência L100, foram aplicados 34,86 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo alcalinizado a 50% dos sólidos totais, adicionando 4.184 Kg ha<sup>-1</sup> de C, representando um acréscimo imediato de 2,3g dm<sup>-3</sup> de carbono ao solo (considerando a camada de 0-20cm). Esses valores chegam a 8.368 Kg ha<sup>-1</sup> na maior dose de lodo L200 (200%). Apesar da adição do carbono via lodo de esgoto, não houve aporte no estoque de carbono no solo. Este resultado pode estar refletindo a dinâmica do carbono no solo e possivelmente a composição da matéria orgânica adicionada via lodo de esgoto, prontamente decomponível (Modesto et al., 2009) ocorrendo rápida mineralização.

Ricci et al. (2010) estudando solos de textura argilosa que receberam composto de lodo de esgoto com doses de até 80 Mg ha<sup>-1</sup>, não verificaram alterações significativas nos teores de carbono. Também Losada et al. (2011), pesquisando aplicação de lodo de esgoto verificou que os valores para carbono não foram consistentes ao longo de dois anos de estudo.

Outra hipótese para os resultados do carbono orgânico, é que tenha havido limitação por parte do método utilizado, Walkley Black. Neste método somente entre 60 e 86% do

carbono orgânico do solo é oxidado havendo necessidade da aplicação de fator de correção. Entretanto, mesmo aplicando o fator de correção, Sato (2013) em estudo de determinação de C e mineralogia do solo, sugere que esta recuperação pode variar dependendo da classe de solo e do teor de argila.

Para este solo de textura muito argilosa, portanto pode também não ter sido extraído totalmente o C orgânico adicionado via lodo, os resultados não apresentaram diferenças das doses com a testemunha, mas mesmo assim, houve correlação entre o carbono e o desenvolvimento da planta (Quadro 9).

Todavia, Andrade et al. (2006) estudando a cinética de degradação de lodos de esgoto em Latossolo vermelho eutroférico argiloso concluiu que após uma rápida fase inicial de degradação do lodo, os compostos recalcitrantes predominam e a taxa de degradação foi dependente da intensidade dos processos biológicos para estabilização da MO nas estações de tratamento de esgotos. Indicando assim, que à origem e a composição do lodo utilizado interferem diretamente na qualidade final do lodo agrícola aplicado ao solo.

**Quadro 9. Coeficientes de correlação linear simples entre os fatores estudados para efeito residual de doses de lodo esgoto alcalinizado, usados como corretivo, sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo de feijão**

LATOSSOLO VERMELHO Distroférico muito argiloso									
	MS	VR	BMI	BMF	RBI	RBF	REM	pHF	COTF
<b>VR</b>	0,922**	1,000							
<b>BMI</b>	ND	ND	1,000						
<b>BMF</b>	0,723**	0,558*	ND	1,000					
<b>RBI</b>	ND	ND	0,305ns	ND	1,000				
<b>RBF</b>	0,696**	0,499*	ND	0,625**	ND	1,000			
<b>REM</b>	0,693**	0,618**	0,549*	0,810**	0,583*	0,528*	1,000		
<b>pHF</b>	0,919**	0,832**	0,771**	0,819**	0,740**	0,757**	0,773**	1,000	
<b>COTF</b>	0,555*	0,538*	0,340ns	0,221ns	0,305ns	0,268ns	0,258ns	0,309ns	1,000
<b>LODO</b>	0,933**	0,836**	0,993**	0,823**	0,971**	0,756**	0,792**	0,998**	0,419ns

\* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. MS= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final; REM= respiração edáfica média; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico final e LODO= doses de lodo.

O parâmetro de pH para o LVdf muito argiloso, apresentou respostas significativas em todas as doses, (Quadro 8). A dose de lodo L100 respondeu de forma semelhante à dose equivalente de calcário C100, mostrando que o poder de redução da acidez no solo, do hidróxido de cálcio usado no lodo, neste estudo teve efeito corretivo semelhante ao do carbonato de cálcio presente no calcário. Porém, para o LVdf muito argiloso as doses de



referência para lodo L100 e calcário C100 ao final do primeiro cultivo, já apresentaram valores de pH inferiores a 5,5.

No LVdf muito argiloso o material de origem é o Basalto, o que caracteriza este solo com grandes conteúdos de argila (Lima, 2004), conferindo-lhe alto poder tamponante (Costa et al., 2004). Portanto, mesmo recebendo maiores quantidades de lodos, após dois cultivos, somente os tratamentos com doses de 150% e 200% conseguiram manter o pH superior a 5,0.

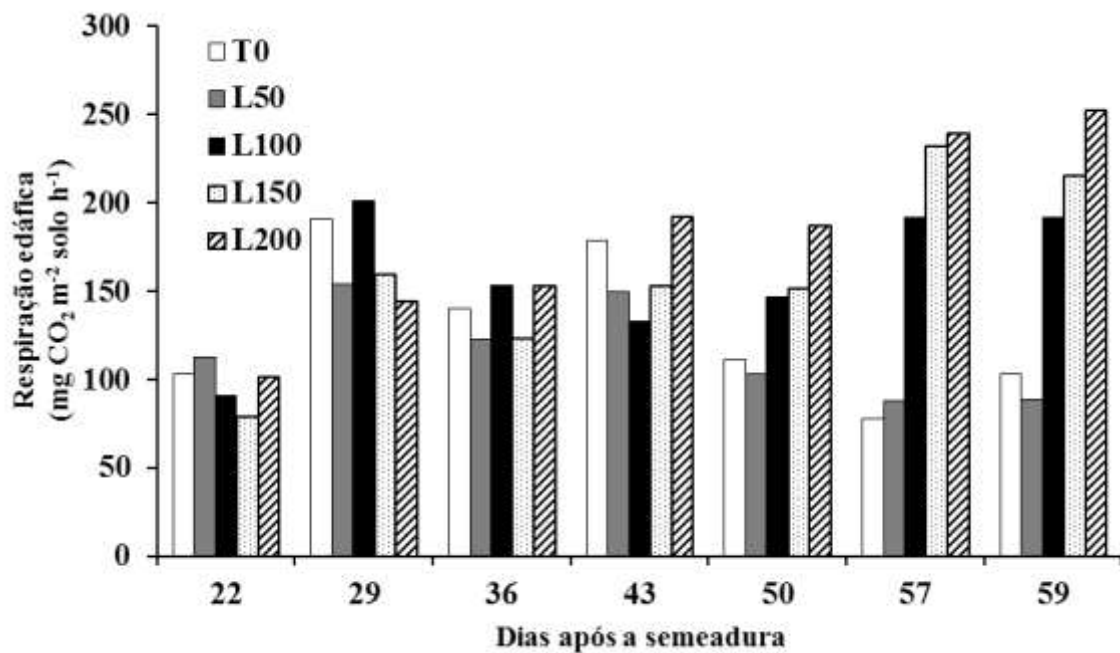
Como as correlações foram calculadas somente para as doses de lodo, sem a inclusão da dose de referência de calcário (Quadro 9), houve correlações fortes para massa seca da parte aérea, volume de raízes, pH do solo e as doses de lodo aplicadas, mostrando o efeito residual deste lodo de esgoto aplicado, sobre o segundo cultivo de feijão. O pH do solo para o LVdf muito argiloso, apresentou correlação forte e significativa com todas as variáveis analisadas para a atividade microbiológica (respiração edáfica, respiração basal e biomassa microbiana do solo), conforme será visto na sequência, mostrando sua importância no metabolismo da microbiota do solo.

## **Atividade Microbiológica**

### **Respiração edáfica**

A variação da respiração edáfica para o solo LVdf muito argiloso apresentada na Figura 8 mostra que teve interação de doses e datas de todos os tratamentos com a maioria dos períodos de determinação. A dose que recebeu 200% apresentou as maiores respostas e foi mais estável ao longo do tempo, provavelmente a maior quantidade de lodo de esgoto proporcionou melhores condições à planta e à biota deste solo, refletindo na resposta da respiração edáfica.

Porém houve também incremento no CO<sub>2</sub> liberado para os tratamentos a partir da dose de referência de lodo de esgoto alcalinizado, com respostas para L100 nas duas últimas determinações para as doses L150 e L200 a partir dos 43 dias, indicando o efeito residual do lodo alcalinizado, proporcionando um ambiente edáfico favorável ao desenvolvimento da planta e à atividade microbiana.



	22	29	36	43	50	57	59
<b>T0</b>	a C	a A	a ABC	a AB	b BC	b C	b C
<b>L50</b>	a A	a A	a A	a A	b A	b A	b A
<b>L100</b>	a B	a A	a AB	a AB	ab AB	a A	a A
<b>L150</b>	a D	a BC	a CD	a BC	ab BC	a A	a AB
<b>L200</b>	a C	a BC	a BC	a AB	a AB	a A	a A

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. As médias seguidas pela mesma letra (minúscula na coluna e maiúscula na linha) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 9. Efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado e calcário, sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVdf muito argiloso**

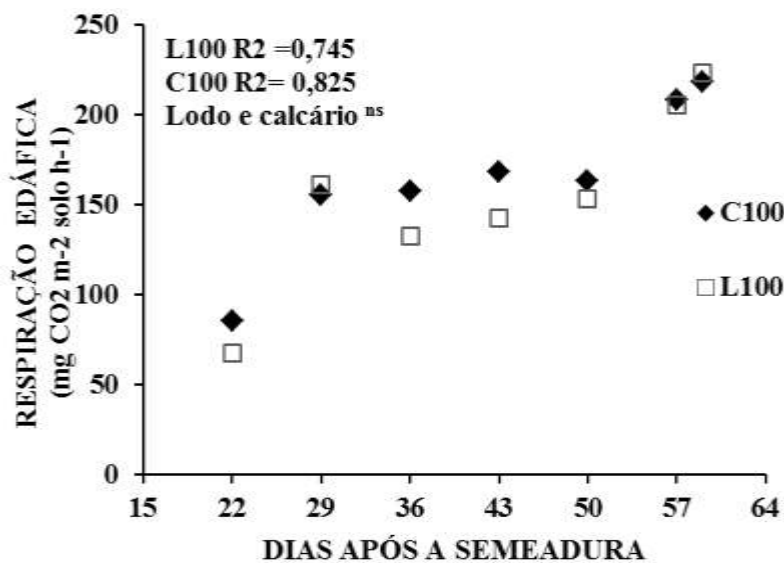
Para este solo que possui alto teor de argila (850 g kg<sup>-1</sup>), as respostas mais homogêneas entre os tratamentos e entre as datas podem estar relacionadas ao fato da planta e da microbiota edáfica serem beneficiadas em solos com elevados teores de argila, por aumentar a retenção dos nutrientes e da água e ainda promover a proteção física dos microrganismos contra predadores, (Venzke-Filho et al., 2008).

Após as primeiras semanas, à medida que as plantas se desenvolveram houve redução do CO<sub>2</sub> liberado para o tratamento com a menor dose de lodo L50 e para a testemunha. Estes resultados provavelmente estão relacionados aos valores de baixo pH destes tratamentos (Quadro 8), bem como a alta acidez potencial (Quadro 4), indicando a dependência da

atividade microbiana à correção da acidez para este solo. Este resultado de baixa atividade microbiana corrobora com as baixas respostas encontradas também para estes tratamentos, de desenvolvimento da planta (MSPA e VR) para este solo, apresentadas no Quadro 8, bem como das demais respostas microbiológicas.

Portanto, provavelmente o pH do solo LVdf muito argiloso de Pato Branco foi determinante sobre a respiração edáfica.

As doses de referência dos dois corretivos L100 e C100 tiveram comportamento semelhante (Figura 9).



**Figura 10. Efeito residual das doses de referência de lodo de esgoto alcalinizado (L100) e de calcário (C100), sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVdf muito argiloso, (<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade**

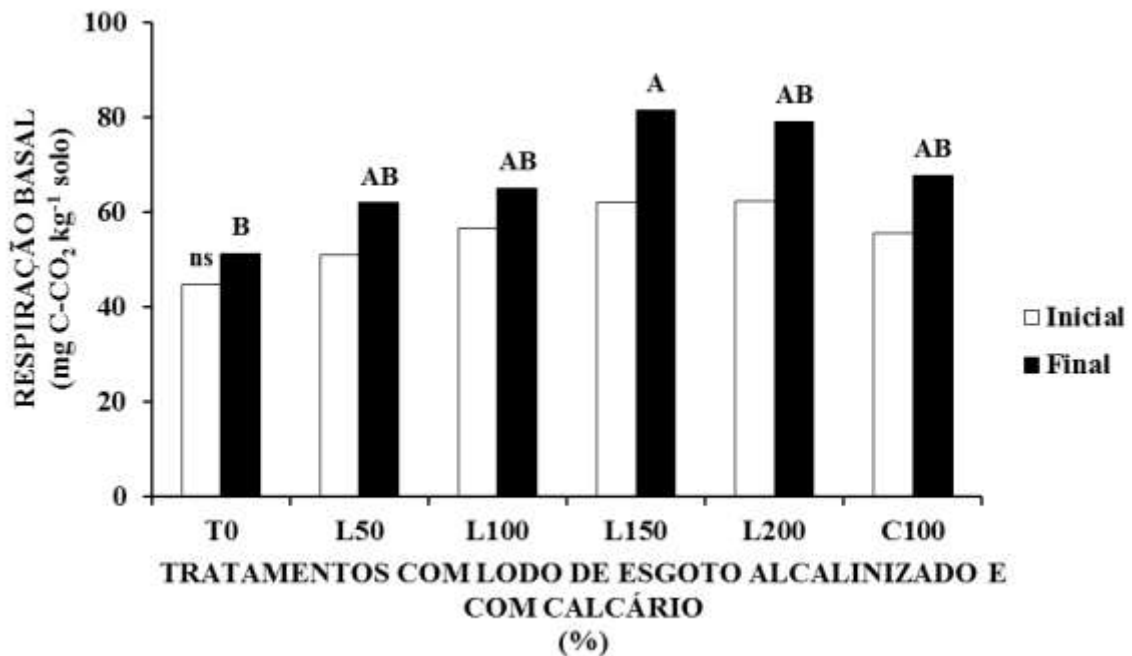
Os dois corretivos, lodo de esgoto alcalinizado e calcário apresentaram respostas aos 57 dias após a semeadura, com efeito residual das doses de referência sobre a respiração edáfica do solo. As características de alto poder de tamponamento deste solo de textura muito argilosa, permitiram aplicação acima de 30 Mg ha<sup>-1</sup> na dose de 100% de lodo de esgoto alcalinizado e acima de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário no tratamento C100, o que pode ter contribuído para estes resultados.

Houve correlação forte e significativa (Quadro 9) da respiração edáfica média com as doses de lodo ( $r = 0,792$ ), com as variáveis de desenvolvimento da planta (MSPA,  $r = 0,693$ ; VR,  $r = 0,618$ ), com o pH do solo ( $r = 0,773$ ) e com as variáveis biológicas; RB e BMS,

reforçando a importância da correção da acidez sobre a atividade microbiana do solo. Porém não houve correlação com o carbono orgânico do solo, o que pode estar relacionado ao método para verificação do carbono orgânico utilizado neste estudo, que talvez não tenha extraído totalmente o carbono, pois as correlações entre todos os parâmetros avaliados levam a crer que há disponibilidade de carbono no solo.

### Respiração basal

Para a RB o LVdf muito argiloso não obteve respostas significativas entre todas as doses no primeiro período de determinação (Figura 10).



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final)

**Figura 11. Respiração Basal do solo LVdf muito argiloso em dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha. Período de incubação de sete dias.**

Assim como ocorreu com o solo textura média, este resultado pode estar associado ao curto período de tempo decorrido, para resposta da população microbiana à influência dos corretivos após a reidratação das amostras.

Na determinação realizada ao final do experimento houve resposta significativa da dose que recebeu 150% da dose referência. Os resultados mostram que após dois cultivos, na

dose que recebeu 150%, com diferença significativa em relação à testemunha, ainda ocorreu o efeito residual do lodo estimulando a atividade microbiana do solo.

Resultados diferentes foram verificados por Andrade et al. (2006) pesquisando taxas de degradação de lodo de esgoto no solo, imediatamente após a aplicação, observaram resultados de respiração basal menores para as doses mais altas, justificando que o incremento de conteúdo orgânico poderia estar suplantando a capacidade microbiana de degradação ou que o aporte de carbono lábil pode gerar inicialmente taxas de respiração elevadas no solo, capazes de reduzir a concentração de oxigênio a patamares prejudiciais aos microrganismos aeróbios.

As doses de referência de lodo e de calcário (L100 e C100) que receberam quantidades de (34,86 Mg ha<sup>-1</sup> e de 10,77 Mg ha<sup>-1</sup>) respectivamente tiveram resultados semelhantes na determinação após o segundo cultivo e já não diferiram da testemunha.

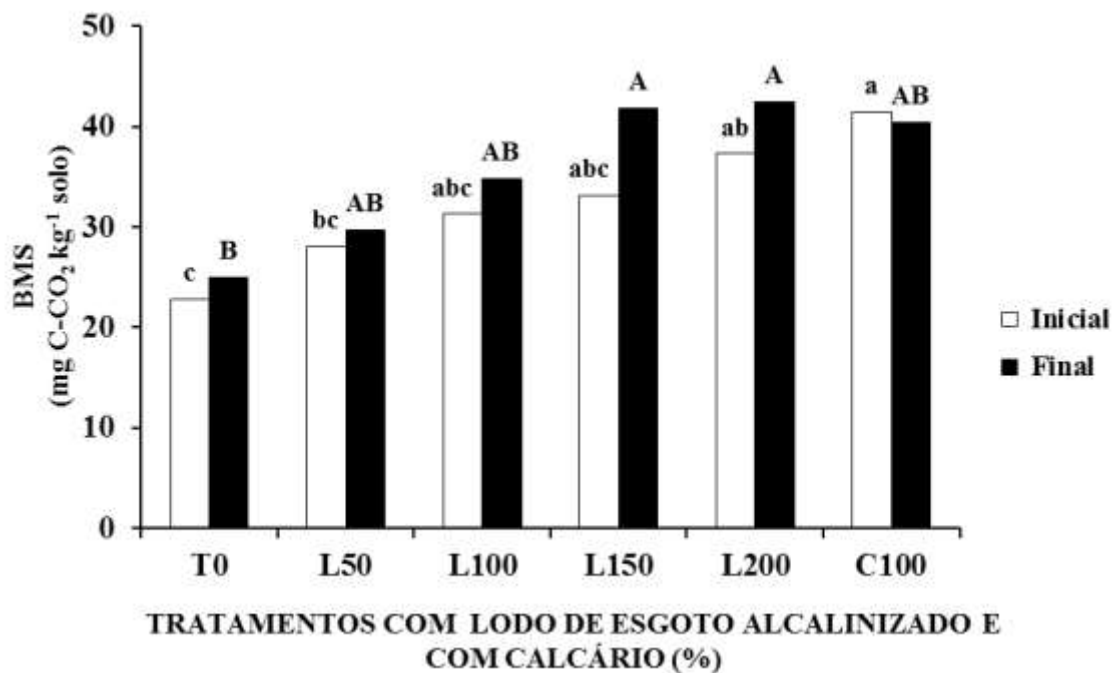
A respiração basal inicial no LVdf muito argiloso teve correlação significativa com o pH do solo e com as doses de lodo (Quadro 9). Ao final do experimento a respiração basal apresentou forte e significativa correlação com as variáveis biológicas, da planta e do solo, indicando que assim como outros processos metabólicos, a respiração é influenciada por diversos fatores do solo como: acidez, a disponibilidade de nutrientes, a presença de resíduos orgânicos, a textura do solo e principalmente pela presença da planta e o ambiente da rizosfera.

Não houve interação entre as doses aplicadas e os períodos de determinação basal.

### **Biomassa microbiana do solo**

Para o LVdf muito argiloso houve diferença significativa na biomassa microbiana do solo na determinação inicial para a dose que recebeu 200% de lodo e para a dose de referência com calcário, (Figura 11). Esta resposta do calcário indica novamente a influência da sua solubilidade mais lenta em comparação ao tratamento equivalente de cal presente na dose referência de lodo L100.

A ausência de resposta das demais doses de lodo alcalinizado em relação à testemunha mostra que antes mesmo do segundo cultivo, houve efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado somente para a dose que recebeu 200%.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final).

**Figura 12. Variação da Biomassa Microbiana do solo LVdf muito argiloso nos dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha.**

Vieira et al. (2011) estudando aplicação de lodos de efluentes de parboilização de arroz e adubação mais calcário em argissolo no primeiro cultivo, encontraram maior resposta de biomassa microbiana do solo somente para o lodo.

Na determinação ao final do experimento os tratamentos L150 e L200 apresentaram respostas significativas superiores à testemunha, porém não foram superiores as doses de referência, mostrando que ao final do segundo cultivo nenhum dos corretivos nas doses equivalentes para elevar o pH a 5,5 (L100 e C100), apresentou efeito residual sobre a BMS.

Este resultado provavelmente está relacionado ao alto poder tampão exercido neste solo, que mesmo recebendo a quantidade de 34,86 Mg ha<sup>-1</sup> no tratamento 100% de lodo L100, somente nas doses com 150% e 200% foi possível verificar o efeito residual sobre a BMS após o segundo cultivo. Estas respostas podem também estar relacionadas à estabilidade deste lodo de esgoto utilizado, sua relação C/N quando foi incorporado a este solo estava (10:1) apresentada no Quadro 4.

O aumento da biomassa microbiana do solo e indução da atividade respiratória dos microrganismos do solo, após a aplicação de lodos de esgoto, tem sido relatado em inúmeros

casos (Andrade et al., 2006; Santos et al., 2009; Souza et al., 2009). Em contraste, em alguns casos decréscimos da biomassa microbiana em solos tratados com lodos de esgoto foram observados em experimentos de longa duração e podem ser atribuídos à presença de metais pesados (Lambais & Carmo, 2008). Os mesmos autores afirmam que independente do teor de metais, o lodo de esgoto pode causar um estresse transiente na comunidade microbiana, dependendo da dose aplicada, e que alterações na estrutura das comunidades microbianas podem estar ocorrendo.

Os resultados de biomassa microbiana do solo para este estudo foram ligeiramente menores que os encontrados por outros autores, utilizando a mesma metodologia em sistemas agrícolas (Ananyevaa et al., 2008) e diferentes sistemas de uso do solo (Kummer et al., 2008). Provavelmente o armazenamento das amostras de solo desidratadas, conforme mencionado anteriormente tenham provocado esta diferença.

No entanto, de acordo com Tótoła & Chaer (2002) apenas as determinações da BMS não fornecem indicações suficientes sobre sua atividade, ou seja, pode haver no solo elevadas quantidades de biomassa inativa justificando a importância dos parâmetros que medem a atividade microbiana para avaliar o estado metabólico atual e potencial dessas comunidades.

### Quociente metabólico

Para o LVdf muito argiloso os valores do quociente metabólico estão apresentados no Quadro 10.

#### **Quadro 10. Resultados de quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**

Tratamentos	LVdf mto argiloso						CV%
	T0	L50	L100	L150	L200	C100	
	0,0498a	0,0513a	0,0473a	0,0464a	0,0446a	0,0412a	13,24

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. Dados Transformados pela fórmula  $x=\sqrt{x}$ .

As respostas para todos os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e em relação ao tratamento controle (T0) que não recebeu nenhum dos corretivos.

Indicadores ecológicos de qualidade do solo como o quociente metabólico devem ser analisados com bastante critério, pois assim como outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores do solo como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos, entre outros (Islam & Weil, 2000).

Portanto, no caso deste estudo, recebendo quantidades de (69,72 Mg ha<sup>-1</sup> e 10,77 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente nas doses com 200% de lodo e 100% de calcário, foi verificado interferência positiva sobre a atividade microbiana deste solo.

A indicação de que não houve diferença entre a testemunha e as doses com corretivos (lodo e calcário), podem indicar eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível para biossíntese e economia de energia, o que supostamente, poderá para esta amostra de solo refletir um ambiente estável ou mais próximo do ambiente de equilíbrio em todos os tratamentos (Sakamoto & Obo, 1994).

### **1.3.3 Solo LBw argiloso e Lodo da Região Metropolitana de Curitiba**

#### **Massa seca da parte aérea e volume de raízes**

Para o Latossolo Bruno Ácrico (LBw) argiloso as respostas de MSPA apresentadas no Quadro 11, houve efeito residual do lodo verificado somente na dose que recebeu 150%, (L150) de lodo alcalinizado.

As doses de equivalência de lodo e calcário (L100 e C100) que receberam 100% dos corretivos no primeiro cultivo tiveram resposta semelhante e já não apresentam efeito sobre a MSPA das plantas no segundo cultivo.

Para o VR, diferente da MSPA a partir da dose referência que recebeu 100% (L100) de lodo, ainda apresentou resposta à alcalinização, enquanto que o calcário não diferiu da testemunha (Quadro 11). Os resultados de MSPA e VR para o solo LBw argiloso estão de acordo com os encontrados por Pontoni (2011) no primeiro cultivo, o autor associou as respostas a outros atributos deste solo que possui material de origem distinto com textura argilosa, com elevado teor de MO, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, parâmetros que têm sido indicados como fatores importantes na amenização da toxidez de alumínio (Al) (Wong & Shift, 2003).



### Carbono orgânico total e pH do solo

As respostas para o carbono orgânico no solo LBw argiloso apresentaram diferenças significativas para a maior dose L200. A dose de calcário apresentou resposta significativamente superior à dose equivalente de lodo L100, (Quadro 11).

**Quadro 11. Matéria seca da parte aérea (MSPA), volume de raízes (VR) de plantas de feijão, pH do solo e carbono orgânico total (COT) do solo sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado e calcário**

Tratamentos	Solo LBw argiloso de Pinhais			
	Planta		Solo	
	MSPA (g)	VR (dm <sup>3</sup> )	COT (g dm <sup>3</sup> )	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>
T0	9,11 b	7,67 d	41,8 b	3,7 e
L50	9,24 b	12,67 cd	41,2 bc	4,2 d
L100	9,93 ab	22,33 abc	40,0 c	4,8 c
L150	11,86 a	27,00 ab	41,6 bc	5,4 b
L200	11,26 ab	31,33 a	44,0 a	5,9 a
C100	9,90 ab	16,67 bcd	42,6 ab	4,9 c
CV %	9,06	25,81	1,64	0,72

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O LBw argiloso na dose de referência L100, recebeu 4.100 kg ha<sup>-1</sup> (1,84 g dm<sup>3</sup>) de carbono através da aplicação do lodo de esgoto alcalinizado, porém não representou acúmulo no estoque de carbono do solo.

Nogueira (2008) estudando isótopo de carbono em solo que recebeu esgoto por irrigação verificou que a alteração encontrada foi resultante da mineralização do carbono orgânico remanescente do solo. A autora constatou também que a contribuição de carbono via esgoto após três anos de aplicação contínua, foi menor do que o acréscimo de carbono ocorrido pela rizodeposição. Verificando as análises iniciais e finais do segundo cultivo (Quadro 4 e Quadro 11), houve redução nos teores de carbono na avaliação final, poderia indicar neste caso que o efeito do lodo de esgoto sobre o C orgânico do solo foi temporário, pois a adição estimula a atividade microbiana, a qual atua sobre frações orgânicas de fácil decomposição, causando diminuição nos teores de matéria orgânica (Canellas et al., 2008; Lambais & Carmo, 2008). Porém, para a testemunha também houve redução, portanto no caso deste estudo a redução no carbono pode estar relacionada com a presença da planta.

Contudo, para este solo com alto teor original de matéria orgânica, mesmo com a redução do teor de carbono durante o segundo cultivo, na dose que recebeu 200% da recomendação de lodo alcalinizado houve efeito no teor residual de carbono orgânico.

Rocha et al. (2004), avaliando os efeitos de doses crescentes de lodo de esgoto (10, 20, e, 40 Mg ha<sup>-1</sup>) na fertilidade de um Latossolo na cultura do eucalipto, observaram que somente após 32 meses da aplicação do lodo, houve aumento nos teores de COT com acréscimo para a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup> ano em comparação ao tratamento testemunha.

A menor resposta no tratamento de referência L100 pode ser em decorrência de alguma limitação do método utilizado neste estudo, que não tenha detectado todo o carbono orgânico do solo. Houve correlações significativas entre todas as variáveis; da planta, do pH do solo e de atividade microbiana, com exceção do carbono, que não apresentou nenhuma correlação (Quadro 12).

**Quadro 12. Coeficientes de correlação linear simples entre os fatores estudados para efeito residual de doses de lodo esgoto alcalinizado, usados como corretivo, sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo de feijão**

LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso									
	MS	VR	BMI	BMF	RBI	RBF	REM	pHF	COTF
<b>VR</b>	0,869**	1,000							
<b>BMI</b>	ND	ND	1,000						
<b>BMF</b>	0,612**	0,719**	ND	1,000					
<b>RBI</b>	ND	ND	0,645**	ND	1,000				
<b>RBF</b>	0,602*	0,782**	ND	0,559*	ND	1,000			
<b>REM</b>	0,733**	0,782**	0,773**	0,661**	0,605**	0,702**	1,000		
<b>pHF</b>	0,764**	0,911**	0,841**	0,813**	0,835**	0,777**	0,822**	1,000	
<b>COTF</b>	0,290ns	0,347ns	0,382ns	0,362ns	0,131ns	0,032ns	0,353ns	0,453ns	1,000
<b>LODO</b>	0,614**	0,903**	0,988**	0,810**	0,946**	0,073**	0,820**	0,998**	0,504ns

\* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. MS= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final; REM= respiração edáfica média; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico final e LODO= doses de lodo.

A variável de pH para o solo LBw argiloso apresentou resposta significativa entre todas as doses com lodo (Quadro 12). Todos os tratamentos foram estatisticamente superiores à testemunha. A dose de lodo L100 apresentou a mesma resposta que à dose equivalente de calcário C100, mostrando que o poder de redução da acidez no solo do hidróxido de cálcio usado no lodo, para as condições deste solo teve efeito corretivo semelhante ao do carbonato de cálcio presente no calcário.

Para este solo, também ocorre a influência do material de origem Argilito, caracterizando-o com grandes conteúdos de argila ( $650 \text{ g kg}^{-1}$ ), Lima (2004), somado a este fato este latossolo bruno possui elevado teor de matéria orgânica, o que lhe confere alto poder tamponante. Portanto, mesmo recebendo quantidades de lodos de ( $36,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) na dose de 100%, após dois cultivos somente os tratamentos com doses de 150% e 200% conseguiram manter o pH acima de 5,0.

## **Atividade Microbiológica**

### **Respiração edáfica**

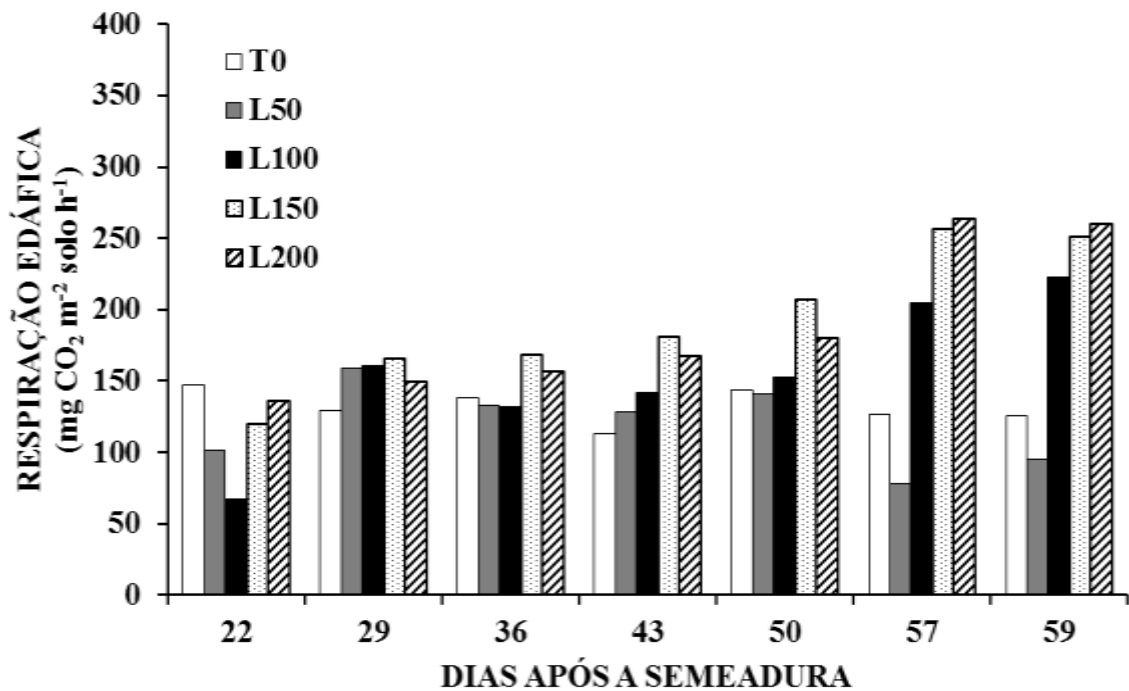
A respiração edáfica para o LBw argiloso apresentou comportamento semelhante ao verificado no LVdf muito argiloso, com menor variação entre os tratamentos, observando-se resultados mais homogêneos nas primeiras semanas (Figura 12).

As respostas mais homogêneas para respiração edáfica neste solo que possui maior teor de matéria orgânica, e com isso, maior disponibilidade de substrato para a comunidade microbiana nativa podem estar relacionadas ao fato desta comunidade microbiana estar adaptada a uma maior quantidade de carbono disponível, resultando em menor interferência da adição de material orgânico e menor variação da respiração edáfica, portanto as condições naturais do solo já são favoráveis ao crescimento microbiano, resultando em discreta resposta à adição do lodo.

Com a evolução das datas e o estabelecimento da rizosfera houve interação para as maiores doses de lodo com as datas, a partir da dose de referência L100 aos 57 e aos 59 dias da semeadura. A interação também ocorreu para cada dose em função do tempo, com exceção da testemunha. Este resultado de efeito residual para as maiores doses de lodo indica a importância da correção da acidez para este solo, que mesmo com alto teor de matéria orgânica e a presença da rizosfera não promoveu efeito sobre a testemunha, que não recebeu nenhum corretivo.

O tratamento referência de lodo L100 apresentou interação com a maioria das datas de determinação, com diferença significativa em relação à testemunha a partir dos 57 dias da semeadura, mostrando o efeito residual da dose de referência.

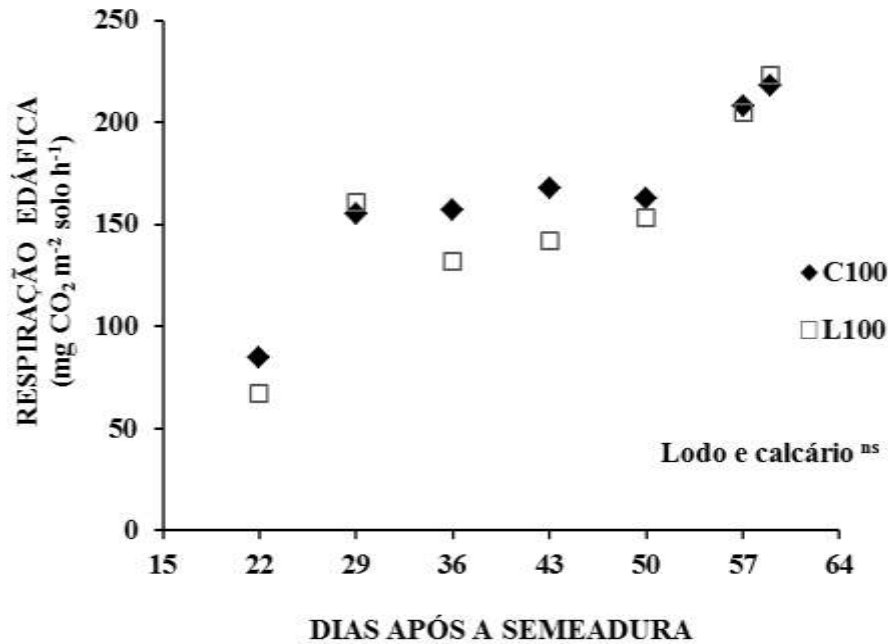
O tratamento com calcário C100 apresentou resposta semelhante ao tratamento equivalente de lodo L100 (Figura 13), portanto também para este solo, nestas condições houve efeito residual dos dois corretivos aplicados, lodo de esgoto alcalinizado e calcário sobre a respiração edáfica.



	22	29	36	43	50	57	59
<b>T0</b>	a A	a A	a A	a A	a A	b A	b A
<b>L50</b>	ab AB	a A	a AB	a AB	a AB	b B	b AB
<b>L100</b>	b C	a AB	a BC	a BC	a AB	a AB	a A
<b>L150</b>	ab C	a BC	a BC	a ABC	a AB	a A	a A
<b>L200</b>	ab C	a C	a C	a C	a BC	a A	a AB

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. As médias seguidas pela mesma letra (minúscula na coluna e maiúscula na linha) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 13. Efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado e calcário, sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LBw argiloso.**



**Figura 14.** Efeito residual das doses de referência de lodo de esgoto alcalinizado (L100) e de calcário (C100), sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LBw argiloso.

Para o solo LBw argiloso houve correlação forte e significativa da respiração edáfica média com as variáveis da planta, de atividade microbiana e com o pH do solo.

Para a maioria dos tratamentos houve redução nos resultados de CO<sub>2</sub> desprendido para respiração edáfica no último período de avaliação, (Figura 4). Esta redução pode estar associada à queda brusca de temperatura ocorrida, onde a temperatura máxima teve redução de 9°C e a temperatura média dentro da casa de vegetação apresentou queda de 11°C entre a sexta e a sétima data de leitura.

Além de fatores como disponibilidade de nutrientes e pH do solo, os fatores climáticos como temperatura e umidade estão diretamente relacionados com a atividade metabólica dos microrganismos do solo (Cattelan & Vidor, 1990; Moreira & Siqueira, 2006).

### Respiração basal

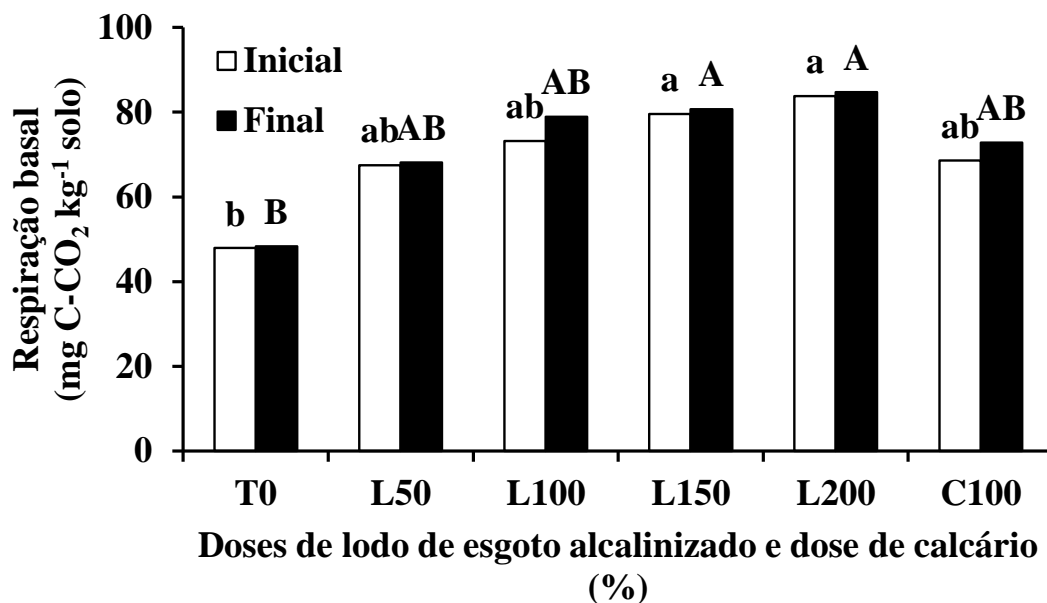
As respostas para RB solo LBw argiloso, conforme indicado na Figura 15 apresentaram uma estabilidade nos valores com menores variações entre as doses e entre os dois períodos determinados.

Todas as doses apresentaram resultados semelhantes na determinação inicial e na determinação ao final do experimento. Somente as doses que receberam 150% e 200% de

lodo alcalinizado apresentaram respostas significativas no início e mantiveram-se também na determinação final, após o segundo cultivo de feijoeiro.

As doses de referência de lodo L100 e de calcário C100 tiveram respostas semelhantes entre si e já não apresentaram efeito dos corretivos nem interação com os dois períodos de determinação.

Para este solo houve estímulo à atividade metabólica dos microrganismos, beneficiada pelo efeito residual da quantidade de lodo que o solo recebeu, (36,29 Mg ha<sup>-1</sup>) na dose referência de 100% (L100). Os resultados provavelmente estão associados também à combinação de altos teores de argila e de matéria orgânica presentes neste, pois são fatores que influenciam diretamente a comunidade microbiana do solo (Bohme et al., 2005). As respostas podem também ser justificadas pelo alto poder tampão conferido a este solo, proporcionando menores gradientes de variações químicas no solo.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final).

**Figura 15. Respiração basal do solo LBw argiloso em dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha. Período de incubação de sete dias.**

Os resultados de respiração basal deste solo apresentaram correlação significativa forte ou moderada com todos os fatores avaliados (Quadro 12), com exceção do carbono, provavelmente pelo valor original elevado no solo. As correlações entre as variáveis de

atividade microbiana ainda nos períodos iniciais, mesmo sem o estabelecimento da rizosfera pode estar mais relacionado com o tipo do solo, com alto teor de matéria orgânica e pelo tipo de compostos orgânicos presentes neste solo.

Ananyeva et al. (2008) estudando a influência de diversos fatores sobre atividade metabólica e biomassa microbiana por respirometria, concluíram que o tipo de solo foi responsável por 48% das variações ocorridas.

Resultados semelhantes de respiração basal foram encontrados por Silva et al. (2007) estudando atividade microbiana em sistemas de manejo, além da influência do tipo de solo os autores atribuíram os maiores valores de atividade microbiana à biomassa presente na cobertura do solo e nos resíduos acrescentados. Esses resultados concordam com Andrea & Pettinelli (2000) que sugerem que as populações microbianas reagem de maneira distinta em diferentes solos, podendo indicar a influência do tipo de solo nas populações microbianas presentes.

A adição de material orgânico rompe temporariamente o equilíbrio dinâmico da matéria orgânica, ocorrendo degradação intensa da matéria orgânica nativa ou da exógena, ou então de ambas, conforme o tipo, a evolução e a sucessão das diferentes comunidades de microrganismos do solo (Stevenson, 1994; Cerri et al., 1992; Bettiol & Camargo, 2006). Eventos semelhantes têm sido verificados em solos tratados com composto de lixo e lodo de esgoto (Oliveira, 2002; Abreu Jr. et al., 2002).

Andrea & Pettinelli (2000) verificaram também que mesmo com aplicações de pesticidas, os efeitos sobre a atividade microbiana do solo são temporários, havendo sempre uma tendência a um novo equilíbrio. Essa tendência de retorno ao equilíbrio pode explicar a estabilidade da respiração basal encontrada neste solo.

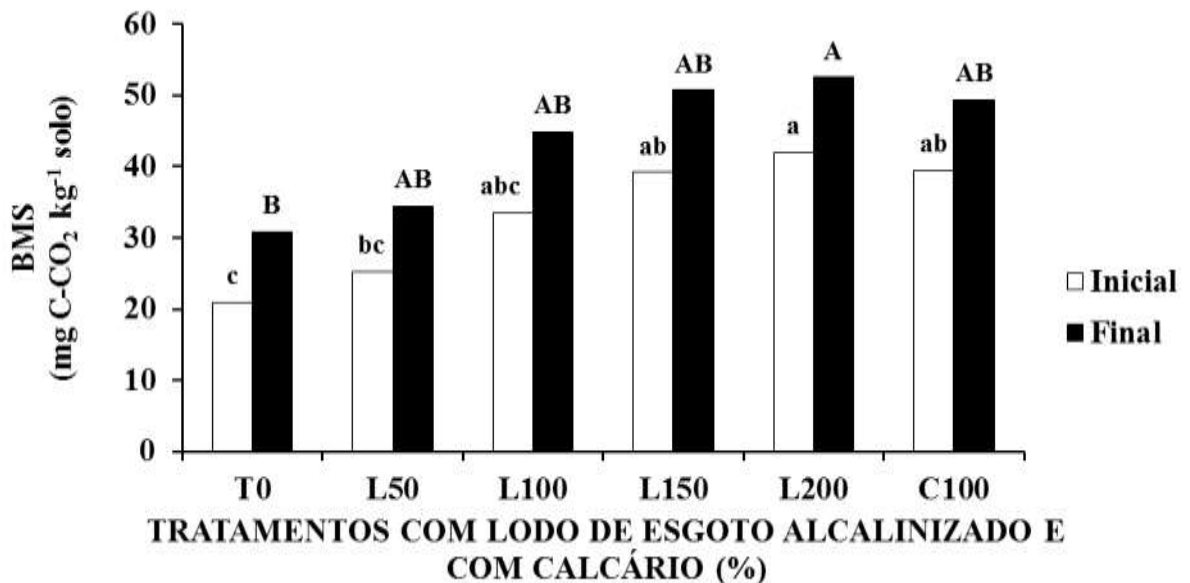
Mesmo com resultados transientes sobre a microbiota do solo, o consumo do material orgânico prontamente disponível e a partir de seus metabólitos pode formar e aumentar a estabilidade dos agregados, melhorando a infiltração, a retenção de água, a estruturação do solo, reduzindo a susceptibilidade à erosão, contribuindo com benefícios diretos e secundários a todo o sistema solo (Salton et al., 2008).

### **Biomassa microbiana do solo**

Para o LBw argiloso os resultados de BMS mostrados na Figura 16, na determinação inicial, apresentaram resposta em relação à testemunha, somente a partir da dose com 150% de lodo (L150) e para o tratamento com calcário (C100) indicando que já ao final do

primeiro cultivo as doses que receberam 50 e 100% de lodo alcalinizado não influenciaram a BMS. A resposta ao calcário provavelmente está associada a menor solubilidade deste corretivo. Porém, na determinação ao final do segundo cultivo, o tratamento com calcário também já não obteve resposta para a BMS.

Na avaliação da BMS ao final do experimento as respostas foram semelhantes às verificadas no solo LVdf muito argiloso, houve diferença significativa somente da maior dose de lodo (L200), em relação à testemunha, indicando que a maior dose de lodo, que recebeu 200% (L200) da dose recomendada para este solo, após o segundo cultivo, conseguiu apresentar efeito residual do lodo aplicado, neste caso, provavelmente retornando a condição de estabilidade da comunidade microbiana do solo. Resposta diferente da encontrada por Boechat et al. (2012), estudando aplicação de lodo de esgoto sobre a atividade microbiana, já não verificaram diferença para BMS entre as doses de lodo e a testemunha após 98 dias de incubação.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, (minúsculas determinação inicial, maiúsculas determinação final).

**Figura 16. Variação da Biomassa Microbiana do solo LBw argiloso nos dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L50;L100;L150;L200) e calcário C100 (%); T0-Testemunha.**

Portanto, no caso deste estudo, o solo LBw argiloso que recebeu as maiores quantidades de corretivos (36,29 Mg ha<sup>-1</sup> e 12,40 Mg ha<sup>-1</sup>) para lodo alcalinizado e calcário



respectivamente, apresentou as menores variações na BMS. Esta resposta pode estar influenciada pelas características físicas e químicas deste solo, bem como, pelo tipo, evolução e sucessão das diferentes comunidades de microrganismos nativas deste solo, adaptadas à condição de altos teores de carbono.

### Quociente metabólico

O resultado do quociente metabólico como indicador de distúrbios na atividade microbiana do solo (Quadro 13) sugere neste caso que mesmo as doses mais elevadas de lodo de esgoto alcalinizado, com 200% da dose recomendada e a dose de calcário, após o segundo cultivo, não causaram alteração significativa no quociente metabólico em relação à testemunha, indicando que não houve estresse na comunidade microbiana do solo (Anderson & Domsch, 1993).

**Quadro 13. Resultados de quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**

Tratamentos	LBw argiloso						CV%
	T0	qCO <sub>2</sub>					
	0,0378a	L50	L100	L150	L200	C100	18,35
		0,0481a	0,0426a	0,0382a	0,0396a	0,0378a	

L0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário.

#### 1.4. CONCLUSÕES

A aplicação de doses de lodo de esgoto alcalinizado como corretivo da acidez do solo, obtidas pelo método da incubação para elevar o pH a 5,5, apresentaram efeito residual sobre o desenvolvimento do feijão, e sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo para os três solos analisados.

As maiores doses (150% e 200%) dos lodos de esgoto alcalinizados apresentaram efeito residual sobre a produção de matéria seca da parte aérea e sobre o volume de raízes das plantas de feijão em segundo cultivo, para os três solos analisados.

As doses (100% 150% e 200%) de lodo de esgoto alcalinizado e a dose de calcário 100% apresentaram efeito residual favorável à atividade microbiana nos três solos cultivados com feijão, evidenciando também um potencial efeito rizosférico.

Os efeitos corretivos das doses equivalentes de lodo de esgoto alcalinizado e calcário apresentaram, após o segundo cultivo de feijoeiro, respostas semelhantes para os três tipos de solos.

## 1.5. LITERATURA CITADA

- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. & OLIVEIRA, F.C. Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Enxofre em Solos Tratados com composto de Lixo Urbano. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:769-780, 2002.
- ALCARDE, J.C. & RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V.V.H. (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003, p.291-334.
- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. (Ed.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London: Academic Press, p.214-219, 1995.
- ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P.R. & MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do Brasil. *Ci. Rural*, 29:651-656, 1999.
- ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M. & LOUREIRO, M.F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta. Sci. Agron.* 33:341-347, 2011.
- ANANYEVAA, N.D.; SUSYAN, E.A.; CHERNOVA, O.V. & WIRTH, S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia . *Eur. J. Soil Biol.* 44:147-157, 2008.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.*10:215-221, 1978.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. *Soil Biol. Biochem.* 25:393-395, 1993.
- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C. & CERRI, C.C. Qualidade da Matéria Orgânica e Estoques de Carbono e Nitrogênio em Latossolo Tratado com Biossólido e Cultivado com Eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:803-816, 2006.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O.N.; DIAS, N.S.; MEDEIROS, J.F. & BATISTA, R.O. Cotton production using secondary domestic sewage. *Acta Scient. Tech.* 35:213-220, 2013.
- ANDREA, M.M. & PETTINELLI, A.Jr. Efeito de Aplicações de Pesticidas sobre a Biomassa e a Respiração de Microrganismos de Solos. *Arq. Inst. Biol.* 67:223-228, 2000.

- ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. & FERNANDES, F. Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções. 1Ed. Curitiba. SANEPAR FINEP. 1999. 288p.
- ANDREOLLI, C.V.; LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; PEGORINI, E.S. & IHLENFELD, R.G.K. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. 1 Ed. Curitiba. SANEPAR. 1999. 21p.
- ARAÚJO, A.S.F. & MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Biosci. Journal*, 23:66-75, 2007.
- ARAÚJO, A.S.F. & MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. *Chemosphere*, 64:1043-1046, 2006.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- BENVINDA, J.M.S. Decomposição de resíduos de nim (*azadiractha indica*) em agroecossistemas no semi-árido da Paraíba. Universidade Federal de Campina Grande. 2005. 41p. (Dissertação de mestrado).
- BETTIOL, W. & CAMARGO, O. Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. 1 ed. Jaguariúna. Embrapa. 2006. 349p. Disponível em: [http://www.cnpma.embrapa.br/public/public\\_pdf21.php3?tipo=li&id=77](http://www.cnpma.embrapa.br/public/public_pdf21.php3?tipo=li&id=77). Acesso 15 abr. 2012.
- BOECHAT, C.L.; SANTOAS, J.A.G.; ACCIOLY, A.M.A.; BOMFIM, M.R & SANTOS, A.C. Industrial and Urban Organic Waste Increase Soil Microbial Activity and Biomass. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1629-1636, 2012.
- BOHME, L.; LANGER, U. & BOHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agric. Ecosys. Environ.* 109:141-152, 2005.
- CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, P.A.; SELBACH, C. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A. Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre. Metropole. 2008. 113-133p
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. & MARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria Orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo- Ecossistemas Tropicais & Subtropicais. 2 ed. p.45-61, 2008.
- CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.

- CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M.S. & CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 6:631-637, 2009.
- CARVALHO, P.J.G.; BÜLL, L.T. & CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. *Pesq. Agropec. Bras.* 39:1213-1218, 2004.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em funções de variações ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 14: 133-142, 1990.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja, em Londrina. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:293-301, 1997.
- CERRI, C.C.; ANDREUX, F. & EDUARDO, B.P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. eds. *Microbiologia do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.73-90.
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1381-1396, 2007.
- COELHO, L.F.; FREITAS, S.S.; MELO, A.M.T. & AMBROSANO, G.M.B. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *pseudomonas* e de *bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1413-1420, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução CONAMA N° 375 de 29 de agosto de 2006. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, Seção 1, v. 143, n. 167, p. 141-146, 2006.
- CORREA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C; FERNANDES, D.M. & PERES, M.G.M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1583-1590, 2008.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. & FONTOURA, S.M.V. Aumento da matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:103-107, 2004.
- DE MARIA, I.C.; KOCSSI, M.A. & DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*, Campinas, 66:291-298, 2007.
- DILLY, O. Microbial respiratory quotient during basal metabolism and after glucose amendment in soils and litter. *Soil Biology & Biochemistry* 33:117-127, 2001.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Ed. Embrapa Solos. 2006.

- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Calagem, Feijão. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_87\\_1311200215104.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_87_1311200215104.html). Acesso em 23 ago.2013.
- ERNANI, P.R. Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes. Acidez e calagem. ERNANI, P.R. (Ed.). p.154-187, 2008.
- FARIAS, E.P.; ZONTA, E.; CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 29:875-882, 2005.
- FIA, R.; MATOS, A.T. & AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caledado. Eng. Agric. 13:287-299, 2005.
- FORTES NETO, P.; FORTES, N.L.P.; SILVA, E.M.A.M.; BRAMBATTI, F.; SILVA, C.R. A qualidade do solo medida pela liberação de CO<sub>2</sub> e pelo número de bactérias e fungos num Solo Fertilizado com Composto de Lodo. In: Simpósio de Gestão e Tecnologia. Anais. São Paulo 2012.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. 2ed. p.159-168, 2008.
- GONÇALVES, A.S.; MONTEIRO, M.T.; GUERRA, J.G.M.; COSTANTIN, A.O. & DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras umedecidas após Secagem ao ar de solos de toposequência de pastagens. Ci. Suelo. 25:81-87, 2007.
- GRISI, B.M. Biomassa e atividade microbiana do solo: Revisão metodológica. Re. Nord. Biol.10:1-22, 1995.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. OLIVEIRA, E.L.de (org.). Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 2003.30p.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1363>. Acesso 28 ago. 2013.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores Sociais Municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico. 2011. Dispon. <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores\\_sociais\\_municipais/indicadores\\_sociais\\_municipais\\_tab\\_pdf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores_sociais_municipais/indicadores_sociais_municipais_tab_pdf.shtm)>. Acesso 02 Mar. 2012.

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Censo agropecuário 2006. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/). Acesso 10 Ago. 2013
- ISLAM, K.R & WEI, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soil as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conserv.* 55:69-78, 2000.
- KONRAD, E. & CASTILHOS, D. Atividade microbiana em um planossolo após a adição de resíduos de curtume. *R. Bras. Agroci.* 7:131-135, 2001.
- KONRAD, E. & CASTILHOS, D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrente da adição do lodo de curtume. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:257-265, 2002.
- KUMMER, L.; BARROS, Y.J.; SCHAFER, R.F.; FERREIRA, A.T.S.; FREITAS, M.P.; PAULA, R.A. & DIONÍSIO, J.A. Respiração e biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de uso. *Scient. Agr.* 4:559-563, 2008.
- LAMBAIS, M.R. & CARMO, J.B. Impacto da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1129-1138, 2008.
- LIMA, V.C. Intemperismo de Rochas e Solos Característicos. *Fundamentos de Pedologia*. UFPR/SCA. Curitiba, 2004, 233p.
- LIN, Q. & BROOKES, P.C. Comparison of methods to measure microbial biomass in unamended, ryegrass-amended and fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.* V.28, 7: 933-939, 1996.
- LIN, Q. & BROOKES, P.C. Comparison of substrate induced respiration, selective inhibition and biovolume measurements of microbial biomass and its community structure in unamended, ryegrass-amended, fumigated and pesticide-treated soils. *Soil Biol. Biochem.* 31:1999-2014, 1999.
- LOSADA, M.R.M.; ZULOAGA, D.M. & RODRIGUEZ, A.R. Effects of lime and sewage sludge on soil, pasture production, and tree growth in a six-year-old *Populus canadensis* Moench silvopastoral system. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174:145-153, 2011.
- MARIN, L. M. K.; S. BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C.V.; CARAFINI, C.; LIMA, M.R. & SERRAT, B. M. Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba. *Eng. Sanit. Ambien.* 15:113-118, 2010.
- MODESTO, P.T.; SKABORA, M.H.; COLODRO, G.; MALTONI, K.L. & CASSIOLATO, A.M.R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1489-1498, 2009.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J. O. Os organismos do Solo. In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. UFLA, p.15-80, 2002.

- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Ecologia do Solo. In: Microbiologia e Bioquímica do Solo. UFLA, p.81-152, 2006.
- NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M.; PEREIRA, B. F. F.; SALEMI, L. F.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L. Water type and irrigation time effects on microbial metabolism of a soil cultivated with Bermuda-grass Tifton 85. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 54: 477-786, 2011.
- OJIMA, R. As dimensões demográficas das mudanças climáticas: cenários de mudança do clima e as tendências do crescimento populacional. *Re. Bras. de Est. Populac.* 28: 389-403, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982011000200009>. Acesso em 07 fev. 2012.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; C. R. MARCIANO, C.R. & ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, ph e CTC. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:505-519, 2002.
- PONTONI, D.R. Nutrição e crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de lodo de esgoto e calcário para solos subtropicais. Universidade Federal do Paraná. 2011. 39p. (Dissertação de mestrado).
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C. & CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19:159-164, 1997.
- RICCI, A.B.; PADOVANI, V.C.R. & PAULA JR, D.R. Uso de lodo de esgoto de estabilizado em um solo decapitado. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:543-551, 2010.
- ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M. & MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:623-639, 2004.
- SAKAMOTO, K. & OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO<sub>2</sub> evolution and total soil microbial biomass. *Biol. Fert. Soil*, 17:39-44, 1994.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUZ, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C. M. & BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:11-21, 2008.
- SAMBATTI, I.G.; SOUZA JR, A.C.S. & COSTA, C.A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá-noroeste do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:257-264, 2003.



- SANTOS, D.S.; ANDRADE, C.A. & MATTIAZZO, M.E. Degradação da fração orgânica de lodos de esgotos após aplicação no solo. In: FERTBIO, Rio de Janeiro, 2002. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.
- SANTOS, J.A.; SANTOS, V.B. & ARAÚJO, A.S.F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. Biosci. J. 25:17-23, 2009.
- SANTOS, E.R. Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação Mangueira, Pernambuco, Brasil. Universidade Católica de Pernambuco. 2009. 56p. (Dissertação de Mestrado)
- SATO, J.H. Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do cerrado. Universidade de Brasília. 2013. 69p. (Dissertação de mestrado).
- SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 021/2009. Disponível em:  
[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/resolucoes/resolucao\\_sema\\_21\\_2009\\_licenciamento\\_padroes\\_ambientais\\_saneamento](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/resolucoes/resolucao_sema_21_2009_licenciamento_padroes_ambientais_saneamento).  
 Acesso em:02 Mar.2012
- SERRAT, B. M.; SANTIAGO, T. R.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A. C. V.; SILVA, L.A.T.P. & ANDREOLI, C. V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solo. R. Bras. Ci. Amb.19:30-37, 2011.
- SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S. & DE-POLLI, H.. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C). Comunicado Técnico 98. EMBRAPA. 12p. 2007.
- SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Principal components analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: World Congress on computers in agriculture. NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SILVEIRA, A.P.D. & FREITAS, S.S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. eds. IAC. 2007. p.193-218.
- SOARES, E.M.B. Frações da matéria orgânica de latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. Pes. agrop. bras. 43:1231-1240, 2008. Disponível em: ISSN0100-204  
<http://dx.doi.org/10.1590/SO100-204x2008000918>. Acesso em 14 abr.2012.
- SORT, X. & ALCANIZ J. M. Effects of sewage sludge amendment on soil Aggregation. Land Degrad. Develop. 10: 3-12, 1999.
- SOUZA, C.A.; REIS JR, F.B.; MENDES, I.C.; LEMAINSKI, J. & SILVA, J.E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. Pesq. agropec. bras. 44:1319-1327, 2009.
- SOUZA, H.A.; NATALE, W.; ROZANE, D.E.; HERNANDES, A. & ROMUALDO, L.M. Calagem e adubação boratada na produção de feijoeiro. Rev. Ciênc. Agron. 42: 249-257, 2011

- SPERA, S.T.; DENARDIM, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SANTOS, H.P. & FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *R. Bras. Ci. Solo.* 32:2613-2620, 2008.
- SRIVASTAVA, S.C. Microbial contribution to extractable N and P after air-drying of dry tropical soils. *Biol. and Fert. Soils* 26: 31-34, 1997.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2ed. New York. J. Wiley & Sons .1994. 496p.
- STOTZKY, G. A simple method for the determination of the respiratory quotient of soils. *Canadian J. Microbiol.* 6:439-452, 1960.
- SUHADOLC, M.; SCHROLLB, R.; HAGNB, A.; DORFLERB, U.; SCHLOTTERB, M. & LOBNIKA, F. Single application of sewage sludge – Impact on the quality of an alluvial agricultural soil. *Chemosphere*, 81:1536-1543, 2010.
- TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V. & DOETZER, B.H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Braz. arch. biol. technol.* 51: 643-655, 2008.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BHENEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, planta e outros materiais. *Boletim Técnico* 5, 2 ed. Porto Alegre: UFRGS 1995. 174p.
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *Tópicos Especiais em Ciências do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.2. p.196-275.
- VARAS, S.A.; INOSTROZA, C. & MONTOYA, E.F. Effects of the incorporation of biosolids on soil quality: temporal evolution in a degraded inceptisol (typic endoaquepts) *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 11: 33-44, 2011.
- VENZKE-FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S. & CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais-Tibagi, PR. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 599-610, 2008.
- VIEIRA, G.D.; CASTILHOS, D.D. & CASTILHOS, R.M.V. Atributos Microbianos do Solo após a adição de Lodo Anaeróbico da Estação de Tratamento de Efluentes de Parboilização do Arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:543-550, 2011.
- WANG, W. J.; DALAL, R.C.; MOODY, P.W. & SMITH, C.J. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 273–284, 2002.
- WONG, M. & SWIFT, R. Role of organic matter in alleviating soil acidity in farming systems. In: RANGEL, Z., ed. *Handbook of Soil Acidity*, Marcel Dekker, 2003. p.337-358.

## **2. CAPÍTULO II - EFEITO RESIDUAL DE LODOS DE ESGOTO ALCALINIZADO SOBRE A ATIVIDADE MICROBIANA EM DOIS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ, SOB CULTIVO DE FEIJOEIRO <sup>(1)</sup>**

Rosemeri Metz <sup>(2)</sup>, Beatriz Monte Serrat <sup>(3)</sup>, Jair Alves Dionísio <sup>(3)</sup>, Alessandra Monteiro de Paula <sup>(4)</sup>

### **RESUMO**

O uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo e a higienização por alcalinização lhe confere propriedades de corretivo agrícola. A matéria orgânica acrescentada ao solo através desse resíduo pode proporcionar alteração da respiração e da atividade microbiana. O objetivo desta pesquisa foi verificar o efeito residual da aplicação de lodo de esgoto alcalinizado sobre a atividade microbiana em dois latossolos do Paraná, um com textura média e outro argiloso. A partir de um experimento inicial, dois solos distintos de duas regiões do Estado do Paraná receberam doses de lodos de esgoto de uma Estação de Tratamento de Esgoto de cada região, os quais foram alcalinizados e utilizados como corretivos em um primeiro cultivo. Após esses solos foram desidratados e assim permaneceram por 18 meses. Dois experimentos de segundo cultivo de feijão foram conduzidos em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e três repetições, estes representados por doses 0, 50, 100, 150 e 200% dos lodos e uma de calcário 100%, obtidas pelo método da incubação para o pH 5,5. Foram determinadas variáveis da planta como massa seca da parte aérea e volume de raízes, bem como do solo como teor de carbono orgânico, pH, respirações edáfica e basal e a biomassa microbiana do solo (BMS). Para os dois solos, o aumento das doses de lodo de esgoto alcalinizado favoreceu o desenvolvimento da planta e aumentou a liberação de CO<sub>2</sub> da BMS e nas respirações edáfica e basal. Para as duas regiões estudadas, os tratamentos que receberam

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

<sup>(2)</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mail: rmmgaia@gmail.com

<sup>(3)</sup> Prof. Prog. de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários, 1540, CEP 80035-050 Curitiba (PR). Bolsista CNPq/SANEPAR. E-mail: bmserrat@ufpr.br; [jair@ufpr.br](mailto:jair@ufpr.br)

<sup>(4)</sup> Professora do Setor de Palotina/da Universidade Federal do Paraná – UFPR. R. Pioneiro, 2153, Jardim Dallas, Palotina – PR, CEP 85950-000 E-mail: ampaula21@gmail.com

150 % e 200 % da dose recomendada dos lodos de esgoto alcalinizados ocasionaram efeito residual sobre a atividade microbiana do solo.

**Palavras-chave:** respiração microbiana, respiração induzida por substrato, respiração edáfica, biossólido, biomassa microbiana do solo.

## ABSTRACT

### **RESIDUAL EFFECT OF SEWAGE SLUDGE ALKALIZED ON MICROBIAL ACTIVITY IN TWO SOILS OF STATE PARANÁ UNDER CROP OF BEANS**

*The use of sewage sludge in agriculture is the most suitable destination for this residue by cleaning and alkalizing properties gives agricultural concealer. Organic matter added to the soil through sewage sludge can provide change of respiration and microbial activity. The objective of this research was to evaluate the residual effect of doses of these wastes on microbial activity in two Oxisols in Paraná, with medium texture and clayey. From an initial experiment, two different soils from two regions of Paraná received doses of sewage sludge from a sewage treatment plant in each region, which were alkalized and used as a first corrective in farming, and remained after dehydrated. Two trials of second crop of beans were conducted in a greenhouse, in a completely randomized design with six treatments and three replications, represented by these doses 0, 50, 100, 150 and 200% of sludge and lime 100% obtained by the method of the incubation at pH 5.5. Were certain variables of the plant, soil, and microbial respirations edaphic and soil microbial biomass (SMB). For both soils, increasing doses of sewage sludge treated with lime favored the development of the plant and increased the release of CO<sub>2</sub> and the BMS in soils and basal breaths. For the two regions studied, the treatments receiving 150% and 200% of the recommended dose sewage sludge Alkaline caused residual effect on soil microbial activity.*

***Index terms:*** microbial respiration, respiration edaphic, substrate induced respiration, biossolid.

## **2.1. INTRODUÇÃO**

O uso do lodo de esgoto na agricultura é a destinação mais adequada para este resíduo, sobre os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos (Bettioli & Camargo, 2006). Após a higienização, pelo Processo de Estabilização Alcalina Prolongada, o lodo de esgoto alcalinizado (LEA) passa a apresentar propriedades de corretivo agrícola.

Como a matéria orgânica do solo (MO) encontra-se em condição de equilíbrio dinâmico, na qual a mineralização do húmus é compensada pela síntese do novo húmus, a adição de material orgânico rompe esse equilíbrio. Isso promove a degradação tanto da MO nativa como da exógena, com intensidades que variam conforme o tipo de solo, ocorrendo, concomitantemente, evolução e sucessão das diferentes comunidades microbianas do solo (Abreu Jr et al., 2002).

Os microrganismos e suas atividades metabólicas respondem também direta ou indiretamente pela transformação, ciclagem e conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas e têm papel importante na formação da estrutura do solo, entre outras interações (Silveira & Freitas, 2007). Assim a adição de LEA ao solo além de modificar a dinâmica de nutrientes, pode aumentar a atividade e a biomassa microbiana do solo (BMS), como resultado dessas diversas interações (Abreu Jr et al., 2002; Silveira & Freitas, 2007).

Para a formação da BMS o carbono é imobilizado nas células microbianas e por meio de sua avaliação é possível realizar comparações entre mudanças de manejo, avaliando possíveis impactos ambientais (Insamet al., 2001). Mas apenas as determinações da BMS não fornecem indicações sobre níveis de atividade das comunidades de microrganismos, sendo de fundamental importância à inclusão de variáveis como a respiração basal, que mensurem essa atividade e informem sobre os seus estados metabólicos (Tótola & Chaer, 2002; Araújo & Monteiro, 2007; Canellas et al., 2008).

Assim, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um dos principais produtos do metabolismo de microrganismos heterotróficos e a avaliação da sua liberação do solo tem sido frequentemente usada como medida da atividade microbiana (Anderson & Domsch, 1978; Santos et al., 2009), possibilitando também, quantificar a velocidade de degradação de um determinado substrato (Konrad & Castilhos, 2001).

Logo, a obtenção e análise de dados sobre as alterações metabólicas da microbiota de solos que receberam LEA podem ser úteis na avaliação do seu impacto no ambiente edáfico.

O objetivo deste estudo foi verificar os efeitos residuais da aplicação de doses de lodos de esgoto alcalinizado e de uma referência de calcário, usados como corretivo, sobre atividade microbiana de dois solos do estado do Paraná.

## **2.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **ANTECEDENTES (Primeiro cultivo)**

#### **Tratamentos**

O primeiro cultivo com feijoeiro, em casa de vegetação ocorreu em 2010, conforme Pontoni, (2011). Os solos foram coletados em regiões distintas, em área de vegetação secundária, à profundidade de 0-20 cm, sendo classificados respectivamente como: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média (LVd textura média) da região de Umuarama e LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso (LBw argiloso), região metropolitana de Curitiba (RMC) do município de Pinhais (EMBRAPA, 2006).

Os lodos foram selecionados em (ETE's) das mesmas regiões. Foram alcalinizados pelo processo de estabilização alcalina prolongada (EAP), incorporando cal na proporção de 50% da massa de sólidos totais (ST) nos lodos úmidos, com período de cura de trinta dias. Os solos receberam calcário (PRNT 101,3%) e os LEA nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200%, equivalentes às quantidades necessárias para elevar o pH dos solos a 5,5 aos 60 dias (Quadro 1), obtidas através da curva de elevação de pH (Serrat et al., 2011). Após o encerramento do experimento os solos foram desidratados ao ar, em ambiente protegido, e permaneceram armazenados por 30 meses.

#### Composição dos lodos de esgoto utilizados

Teores totais de macro e micronutrientes e Poder de Neutralização (PN) em % equivalente  $\text{CaCO}_3$  presentes nos LEA de Umuarama e Pinhais, utilizados nos solos da mesma região foram: Umuarama, macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ): C- 152; N- 12,4; P- 1,8; K- 0,9; Ca- 63,9 e Mg- 34,1. Micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Cu- 112; Fe- 5498; Mn- 135 e Zn- 113; PN- 39,13. RMC-Pinhais, macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ): C- 113; N- 8,8; P- 1,5; K- 0,8; Ca- 54,4 e Mg- 31,2. Micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Cu- 112; Fe- 8560; Mn- 124 e Zn- 84; PN- 29,4. Os teores de argila dos solos também foram determinados no primeiro cultivo, sendo  $200 \text{ g kg}^{-1}$  para o solo LVd textura média de Umuarama e  $650 \text{ g kg}^{-1}$  para o LBw argiloso de Pinhais (Pontoni, 2011).

**Quadro 1. Quantidades de lodos de esgotos alcalinizados e calcário aplicadas aos solos, obtidas para o pH 5,5 na curva de elevação de pH de cada solo.**

Experimentos	Tratamentos (%)					
	T0	L50	L100	L150	L200	C100
	$\text{Mg ha}^{-1}$					
<b>LVd textura média de Umuarama</b>	0,00	3,20	6,40	9,60	12,80	3,12
<b>LBw argiloso de Pinhais</b>	0,00	18,15	36,29	54,44	72,60	12,40

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário.

Fonte: Pontoni, 2011

## AVALIAÇÃO RESIDUAL (Segundo cultivo)

### Caracterização experimental

Para este estudo utilizou-se os seguintes tratamentos, aplicados antes do primeiro cultivo: 0, 50, 100, 150 e 200% para os LEA e 100% para o calcário (Quadro 1). Com delineamento inteiramente casualizado e três repetições, os dois experimentos, um para cada solo (18 unidades experimentais cada), foram conduzidos em vasos (2,3 dm<sup>3</sup>), na casa de vegetação da UFPR (Curitiba-PR). O plantio ocorreu em novembro de 2012 com a reidratação até 60% da capacidade de campo dos solos. Foi realizada adubação de base somente para K, em todos os tratamentos, conforme análise química, seguindo a recomendação para o Estado do Paraná (IAPAR, 2003). As sementes da cultivar de feijão IPR-Tuiuiu foram inoculadas com *Rhizobium tropici*.

### Solos

A caracterização química dos solos foi determinada no Laboratório de Química e Fertilidade da UFPR, o pH foi analisado por solução CaCl<sub>2</sub>, 0,01 M (pH-5,5) e por SMP (pH-7,5) (Quadro 2). O carbono orgânico total do solo (COT) foi determinado por oxidação do carbono por via úmida desenvolvido (Walkley & Black), conforme metodologia descrita por Tedesco (1995).

**Quadro 2. Caracterização química dos solos por tratamento no início do segundo cultivo.**

Tratamentos	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média									C (%)
	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	P	g dm <sup>-3</sup>	
T0	4,1	5,9	5,4	0,7	1,1	0,4	0,1	39,1	23,2	30,4
L50	4,3	6,4	3,7	0,3	2,4	0,8	0,1	45,3	29,7	8,3
L100	4,7	6,4	3,7	0,1	2,7	1,1	0,1	40,8	31,6	2,5
L150	5,0	6,8	2,7	0,1	3,1	1,4	0,1	35,4	35,1	2,1
L200	5,4	6,8	2,7	0,0	2,9	2,6	0,1	40,2	37,6	0,0
C100	4,9	6,4	3,7	0,0	1,8	1,7	0,1	37,4	30,2	0,0
LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso (LBw)										
T0	4,1	4,7	13,1	2,5	2,9	1,4	0,1	17,1	47,7	36,2
L50	4,1	5,8	5,8	0,5	5,0	2,8	0,2	16,8	48,7	5,9
L100	5,0	4,5	5,2	0,1	6,4	4,3	0,2	13,9	50,0	0,9
L150	5,4	6,5	3,4	0,1	8,8	6,8	0,1	13,6	49,9	0,6
L200	6,3	6,8	2,7	0,0	11,4	6,4	0,1	16,6	50,5	0,0
C100	5,3	5,8	5,8	0,0	7,0	5,2	0,1	19,2	49,5	0,0

T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário

### **Atividade microbiana**

A respiração edáfica (RE) foi determinada por método adaptado de Grisi (1995). Utilizando uma câmara, no formato de “cilindro invertido” e um recipiente contendo 10 mL da solução de NaOH 0,5 N. As câmaras foram instaladas de forma aleatória semanalmente, acompanhadas de duas provas em branco, permanecendo por 48 horas, retirando-se então o recipiente com o NaOH, acrescentando 2,0 mL de BaCl<sub>2</sub> e titulado com HCl 0,5 N, usando fenolftaleína 1% como indicador.

A respiração basal (RB) foi realizada seguindo o método descrito por Alef (1995). A Biomassa Microbiana do solo (BMS) baseou-se na Respiração Induzida por Substrato (RIS), conforme descrito por Anderson & Domsch (1978), aplicando-se 1% de glicose, com resposta inicial respiratória máxima de 4 horas. As determinações foram em duplicata, com duas provas em branco.

### **Análises Estatísticas**

Para cada variável realizou-se a análise da normalidade dos erros de acordo com Shapiro Wilk, análise de variância, seguida das comparações de médias pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os tratamentos de referência lodo (L100) e calcário (C100), foram comparados pelo teste “t” ( $p < 0,05$ ). Avaliaram-se os coeficientes de correlação linear de Pearson, entre doses de LE e variáveis de plantas, solo e microbiológicas. Utilizou-se o Programa ASSISTAT 7.6 (Silva & Azevedo, 2009).

## **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Massa seca da parte aérea e volume de raiz**

Para o feijoeiro desenvolvido no solo LVd textura média (Umuarama) houve incremento de matéria seca da parte aérea (MSPA) a partir da dose de lodo L100 (Quadro 3). Já para a dose equivalente de calcário a cultura não apresentou resposta. Como todos os tratamentos inclusive a testemunha receberam adubação de base, isso evidencia o efeito residual do LEA. Esses resultados concordam com os de Losada et al. (2011) para cultivos em sistema silvipastoril em solo arenoso e diferem dos encontrados por Correa et al. (2008) em avaliação de corretivos em forrageira, também em LVd textura média, os quais encontraram resultados para o calcário e para o lodo de esgoto, indicando que as respostas dependem também das culturas e das condições iniciais dos solos.

Para o volume de raízes (VR) no LVd textura média (Quadro 3) houve efeito residual do calcário (C100) e das maiores doses LEA (L150 e L200), podendo estar associado à solubilidade mais lenta do calcário que, após dois cultivos, continua favorecendo o ambiente



radicular (Alcarde & Rodella, 2003), equiparando-se às maiores doses de lodo. Para esta variável (VR) os resultados estão de acordo com Correa et al. (2008) que também obtiveram resposta à aplicação de ambos corretivos. Cabe destacar que Pontoni (2011) no primeiro cultivo, logo após a correção deste solo, não encontrou, para os dois corretivos, respostas a essas variáveis (MSPA e VR).

**Quadro 3. Matéria seca da parte aérea (MS) e volume de raízes (VR) de plantas de feijoeiro, carbono orgânico total (COT) e pH do solo, sob efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado (L) e dose de calcário (C), no solo LVd textura média da região de Umuarama**

Médias	Solo LVd textura média de Umuarama				Solo LBw argiloso de Pinhais			
	-----Planta---		-----Solo-----		-----Planta-----		-----Solo-----	
	MSPA (g)	VR (dm <sup>3</sup> )	COT (g dm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	MSPA (g)	VR (dm <sup>3</sup> )	COT (g dm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )
T0	10,6 c	14,7 b	28,5b	4,0 f	9,1 b	7,7 d	41,8 b	3,7 e
L50	11,4bc	18,7 b	29,1b	4,3 e	9,2 b	12,7 cd	41,2 bc	4,2 d
L100	13,1 ab	21,7 b	30,1ab	4,5 d	9,9 ab	22,3 abc	40,0 c	4,8 c
L150	13,3 ab	34,3 a	33,1a	4,9 b	11,8 a	27,0 ab	41,6 bc	5,4 b
L200	13,7 a	33,7 a	30,7ab	5,3 a	11,3 ab	31,3 a	44,0 a	5,9 a
C100	11,8 abc	33,7 a	28,4b	4,7 c	9,9 ab	16,7 bcd	42,6 ab	4,9 c
CV %	5,94	14,33	4,88	0,96	9,06	25,81	1,64	0,72

T0-Testemunha; L-lodo50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. Ambos obtidos pelo método de incubação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o LBw argiloso (Pinhais), as doses de referência (L100 e C100), que receberam 32,3 Mg ha<sup>-1</sup> e 12,4 Mg ha<sup>-1</sup> de LEA e calcário respectivamente (Quadro 1), já não apresentam efeito sobre a MSPA das plantas no segundo cultivo. Apenas a dose que recebeu 150% de LEA favoreceu a produção de MSPA (Quadro 3). A ação corretiva do LEA ocorre simultaneamente com a disponibilidade de nutrientes presentes nos compostos orgânicos do lodo de esgoto (Tamanini et al., 2008; Pontoni, 2011; Andrade et al., 2013). Portanto, o resultado mostra que o efeito residual das maiores doses de lodo sobre a MS da planta provavelmente está relacionado às diferenças na composição dos dois corretivos.

Neste solo (LBw argiloso) houve resposta crescente do VR do feijoeiro com o aumento das doses de LEA (Quadro 3), não sendo observado efeito para o calcário. Esses dois resultados (MSPA e VR) para este solo estão de acordo com os encontrados por Pontoni (2011) no primeiro cultivo, o autor associou as respostas a outros atributos deste solo como o material de origem de textura argilosa, o elevado teor de MO, Ca e Mg trocáveis, parâmetros

que têm sido indicados como fatores importantes na amenização da toxidez de Al (Wong & Shift, 2003).

Para os dois experimentos avaliados a diferença nas respostas para desenvolvimento da planta, além das variações na quantidade e composição dos lodos de esgoto utilizados, teve marcante influência das características dos próprios solos (Quadro 2), principalmente do teor de matéria orgânica, nutrientes e da concentração de alumínio.

### **Carbono orgânico total e pH do solo**

No solo LVd textura média houve resposta significativa de efeito residual sobre o carbono orgânico na dose que recebeu 150% de LEA em relação à testemunha da respectiva região (Quadro 3). Este resultado pode estar relacionado à menor quantidade de complexos argilo-minerais neste solo e, dessa forma, apresentando menor proteção física da matéria orgânica (Costa et al., 2004).

O resultado para o C também pode estar associado com as fortes correlações entre o COT e as variáveis MS, VR, respiração edáfica média (REM) e as doses de lodo (Quadro 4), indicando as interações dinâmicas que ocorrem entre planta, solo e microrganismos no ambiente edáfico, concordando com o estudo realizado por Nogueira (2011).

Para o solo LBw argiloso, após o segundo cultivo o carbono orgânico ainda apresentou efeito residual da dose L200 de LEA. Verificando as análises iniciais e finais do segundo cultivo (Quadros 2 e 3) houve redução nos teores de carbono na avaliação final, podendo indicar neste caso que o efeito do lodo de esgoto sobre o C orgânico do solo foi temporário, pois sua adição estimula a atividade microbiana, a qual atua sobre frações orgânicas de fácil decomposição, causando diminuição nos teores de matéria orgânica (Canellas et al., 2008; Lambais & Carmo, 2008). Outros autores descreveram comportamentos similares do carbono orgânico do solo diante de aplicações de lodo de esgoto (Nogueira, 2011; Ricci et al., 2010). Rocha et al. (2004), encontraram aumento nos teores de COT somente após 32 meses com aplicação anual de 40 Mg ha<sup>-1</sup>ano.

Nogueira (2011) estudando isótopo de carbono em solo que recebeu esgoto verificou alteração resultante da mineralização do carbono orgânico remanescente do solo. A autora constatou também que a contribuição de carbono via esgoto após três anos de aplicação contínua, foi menor do que o acréscimo de carbono ocorrido pela rizodeposição.

Outra probabilidade para os baixos valores de carbono é que pode ter havido neste caso, alguma limitação do método utilizado, que não tenha detectado todo o carbono orgânico do solo. Houve correlações significativas entre as variáveis da planta, de atividade microbiana e do pH do solo, com exceção do carbono (Quadro 4). Contudo, para este solo com alto

teor original de matéria orgânica, na dose que recebeu 200% de LEA houve efeito no teor residual de carbono orgânico, comparado à testemunha.

Para o parâmetro de pH no solo LVd textura média, em razão das diferentes quantidades de corretivos aplicadas, verificou-se diferenças significativas em todas as doses (Quadro 3), e todas foram superiores à testemunha. Ricci et al (2010) também descreveram comportamentos similares do pH do solo diante de aplicações de lodo de esgoto. Entretanto, para este solo nenhum dos tratamentos conseguiu manter o pH pretendido (pH 5,5), nem mesmo na dose de LEA que recebeu 200% da quantidade recomendada, como reflexo das constantes reações de retorno ao equilíbrio químico natural do solo (Costa et al., 2013).

**Quadro 4. Coeficientes de correlação linear simples entre os fatores estudados para efeito residual de doses de lodo de esgoto alcalinizado, usado como corretivo, sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo de feijão**

<b>LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média</b>									
	<b>MS</b>	<b>VR</b>	<b>BMI</b>	<b>BMF</b>	<b>RBI</b>	<b>RBF</b>	<b>REM</b>	<b>pHF</b>	<b>COTF</b>
<b>VR</b>	0,770*	1,000	-	-	-	-	-	-	-
<b>BMI</b>	ND	ND	1,000	-	-	-	-	-	-
<b>BMF</b>	0,620**	0,761**	ND	1,000	-	-	-	-	-
<b>RBI</b>	ND	ND	0,522*	ND	1,000	-	-	-	-
<b>RBF</b>	0,657**	0,379 <sup>ns</sup>	ND	0,660**	ND	1,000	-	-	-
<b>REM</b>	0,824**	0,882**	0,738**	0,822**	0,766**	0,467 <sup>ns</sup>	1,000	-	-
<b>pHF</b>	0,811**	0,877**	0,756**	0,803**	0,659**	0,502*	0,820**	1,000	-
<b>COTF</b>	0,600*	0,794**	0,423 <sup>ns</sup>	0,549*	0,417 <sup>ns</sup>	0,195 <sup>ns</sup>	0,648**	0,523*	1,000
<b>LODO</b>	0,850**	0,866**	0,264**	0,826**	0,936**	0,864*	0,862**	0,996**	0,664*
<b>LATOSSOLO BRUNO Ácrico argiloso</b>									
	<b>MS</b>	<b>VR</b>	<b>BMI</b>	<b>BMF</b>	<b>RBI</b>	<b>RBF</b>	<b>REM</b>	<b>pHF</b>	<b>COTF</b>
<b>VR</b>	0,869**	1,000	-	-	-	-	-	-	-
<b>BMI</b>	ND	ND	1,000	-	-	-	-	-	-
<b>BMF</b>	0,612**	0,719**	ND	1,000	-	-	-	-	-
<b>RBI</b>	ND	ND	0,645**	ND	1,000	-	-	-	-
<b>RBF</b>	0,602*	0,782**	ND	0,559*	ND	1,000	-	-	-
<b>REM</b>	0,733**	0,782**	0,773**	0,661**	0,605**	0,702**	1,000	-	-
<b>pHF</b>	0,764**	0,911**	0,841**	0,813**	0,835**	0,777**	0,822**	1,000	-
<b>COTF</b>	0,290 <sup>ns</sup>	0,347 <sup>ns</sup>	0,382 <sup>ns</sup>	0,362 <sup>ns</sup>	0,131 <sup>ns</sup>	0,032 <sup>ns</sup>	0,353 <sup>ns</sup>	0,453 <sup>ns</sup>	1,000
<b>LODO</b>	0,614**	0,903**	0,988**	0,810**	0,946**	0,073**	0,820**	0,998**	0,504 <sup>ns</sup>

MS= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final; REM= respiração edáfica média; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico final e LODO= doses de lodo.  $r < 0,4$  correlação fraca;  $r < 0,7$  correlação moderada e  $r < 0,9$  correlação forte.

Embora o solo LVd textura média tenha recebido somente 6,40 Mg ha<sup>-1</sup> de LEA na dose 100%, este resultado provavelmente está associado com a baixa capacidade tampão dos

solos do noroeste do Paraná, originados a partir de rochas sedimentares arenosas da Formação Caiuá (Sambatti et al., 2003). Neste solo, a dose de calcário apresentou pH médio entre as doses que receberam 100% e 150% de LEA. Isto ocorreu devido à baixa solubilidade do calcário. O carbonato de cálcio e magnésio, presente no calcário apresenta menor solubilidade e maior tempo de reação no solo (Alcarde & Rodella, 2003). Os resultados refletem a influência da solubilidade do corretivo no ambiente radicular para o solo (LVd textura média) que recebeu menos corretivo.

Para o solo LBw argiloso da região de Pinhais, os tratamentos que receberam às doses equivalentes de calcário e de LEA apresentaram o mesmo desempenho, mostrando que o poder de redução da acidez no solo do hidróxido de cálcio usado no lodo desta região, neste solo teve efeito corretivo semelhante ao do carbonato de cálcio presente no calcário.

O solo LBw argiloso, assim como grande parte da RMC tem como material de origem o Argilito, atribuindo-lhe grande conteúdo de argila (Lima, 2004), que somado ao seu elevado teor de MO confere-lhe alto poder tamponante. Portanto, mesmo recebendo maiores quantidades de corretivos, (36,29 e 12,40 Mg ha<sup>-1</sup>) respectivamente de LEA e calcário na dose de 100%, após dois cultivos somente as doses com 150% e 200% de LEA conseguiram manter o pH acima de 5,0 (Quadro 3).

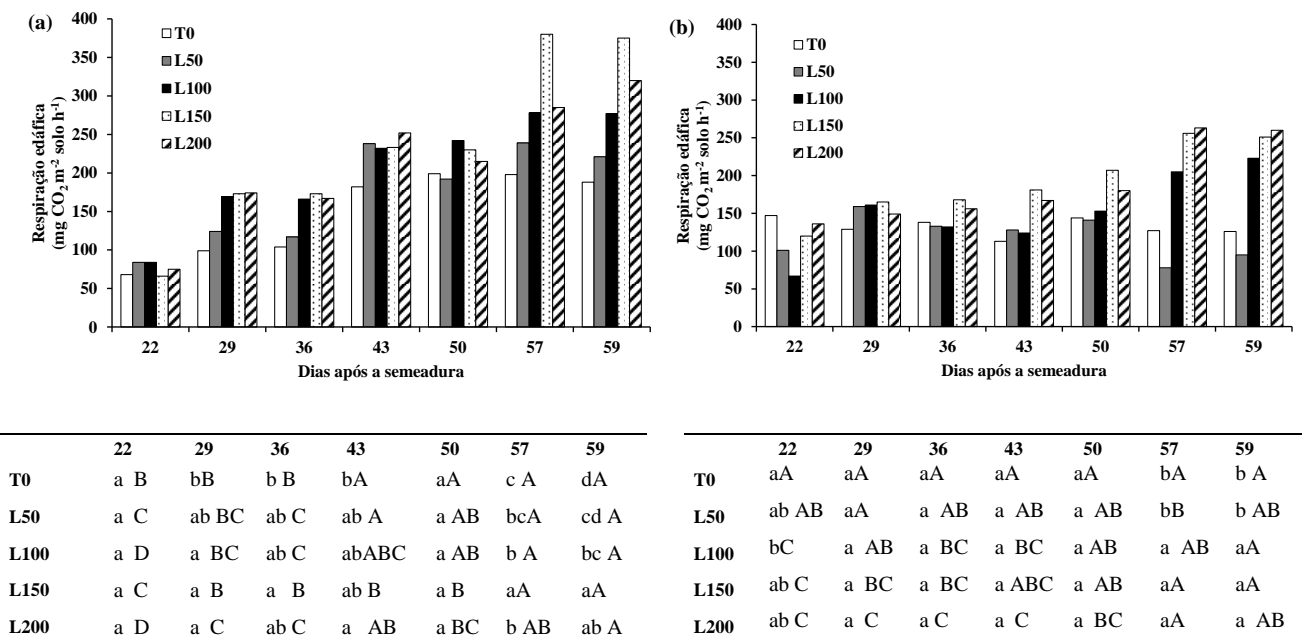
Houve forte correlação entre o pH dos dois solos com a MS e VR (Quadro 4), indicando a importância da correção da acidez para o desenvolvimento da planta (Costa et al., 2013), mesmo a cultivar deste feijoeiro sendo tolerante a acidez. A correlação forte e significativa verificada com as variáveis de atividade da microbiota para os dois solos avaliados, mostra importância do pH como uma das condições essenciais na estabilidade da comunidade microbiana em solos agrícolas (Modesto et al., 2009).

### **Respiração edáfica**

A variação da RE para o solo LVd textura média (Figura 1a), mostrou que para todos os tratamentos houve aumento no CO<sub>2</sub> liberado, verificado pelas respostas da interação doses e datas, observada à medida que a rizosfera foi se estabelecendo, com aumento diferenciado entre as doses, e também para as mesmas doses na maioria do tempo, com destaque para o efeito residual do tratamento L150 para os dois últimos períodos de avaliação. Este solo recebeu somente 6,4 Mg ha<sup>-1</sup> de LEA na dose de referência (L100), porém, nas condições deste estudo ainda apresentou efeito residual das doses sobre esta variável de atividade biológica.

A resposta de respiração edáfica média (REM) mostrou correlação (Quadro 4), com doses de lodo ( $r = 0,862$ ) e com (MS,  $r = 0,824$ ; VR,  $r = 0,882$ ). Estes resultados corroboram com os encontrados por Farias et al., (2005), que verificaram maiores respostas para RE durante o período de máxima produção de raízes.

A RE para o LBw argiloso (Figura 1b) apresentou menor variação entre os tratamentos, observando-se homogeneidade das respostas nas primeiras semanas. Os resultados para este solo que possui maior teor de MO podem estar relacionados ao fato da comunidade microbiana nativa estar adaptada a maior quantidade de carbono disponível, resultando em menor variação, portanto as condições naturais do solo já são favoráveis aos microrganismos, resultando em discreta resposta à adição do lodo (Venzke-Filho et al., 2008).



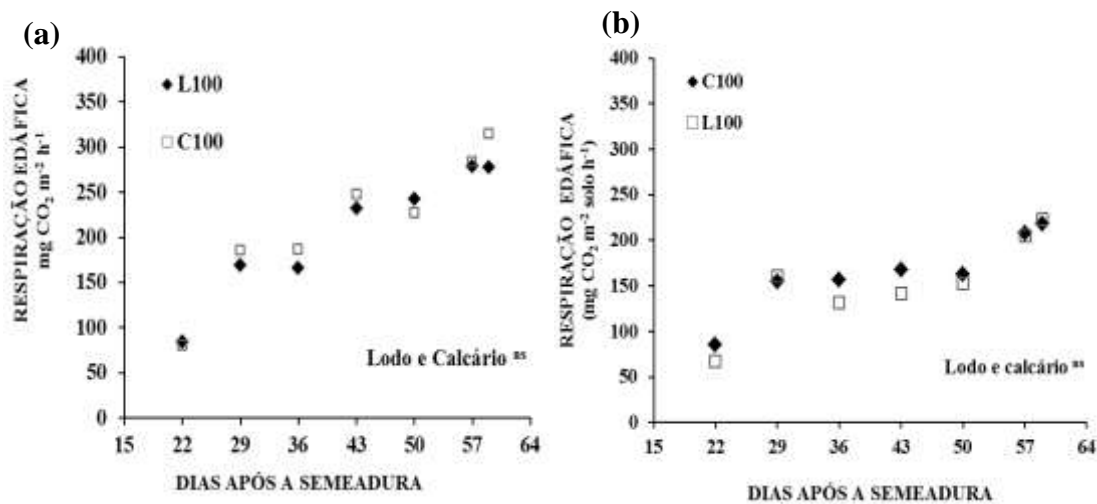
T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. Letra minúscula, variação das doses nas datas representadas pelas colunas do gráfico. Letra maiúscula Variação de cada dose nos dias de determinação. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. (a) LVd textura média. (b) LBw argiloso.

### Figura 1. Efeito residual de doses de LEA e dose de calcário, sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVd textura média de Umuarama e em LBw argiloso de Pinhais

Neste solo de textura argilosa, houve interação das doses de lodo, a partir da dose de referência L100 aos 57 e aos 59 dias da sementeira. A interação também ocorreu para cada

dose em função do tempo, com exceção da testemunha. Os resultados mostraram efeito residual das maiores doses de lodo e a importância da correção da acidez para este solo, que mesmo com alto teor de MO e na presença da rizosfera não obteve resposta da testemunha, que não recebeu nenhum corretivo. Houve correlação da REM com as demais variáveis biológicas, da planta e com o pH do solo.

As respostas para RE nos tratamentos de referência L100 C100, (obtidos através do método da incubação para elevar o pH até 5,5) são apresentadas na (Figura 2a e 2b).



(a) LVd textura média. (b) LBw argiloso.

**Figura 2. Efeito residual das doses de referência, de lodo de esgoto alcalinizado (L100) e dose de calcário (C100), sobre a respiração edáfica, sob cultivo de feijoeiro, em LVd textura média e em LBw argiloso. (<sup>ms</sup>) não significativo, pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade**

Os dois corretivos, lodo e calcário apresentaram desempenho semelhante, sem diferença significativa. Portanto, com a resposta da dose de lodo L100 (Figura 5 a e b), pode-se inferir que no caso destes solos os dois corretivos ainda mostraram efeito residual sobre a respiração edáfica.

Um aspecto importante de uma rizosfera estabelecida é a presença de uma comunidade microbiana complexa e substratos orgânicos liberados das raízes. Relações benéficas, patogênicas e neutras são reguladas por sinais moleculares que ocorrem neste ambiente (Silveira & Freitas, 2007). No caso deste estudo, provavelmente o incremento de compostos orgânicos adicionados através das maiores doses de lodo tenham beneficiado diretamente a comunidade microbiana e o desenvolvimento da planta, esta por sua vez, novamente

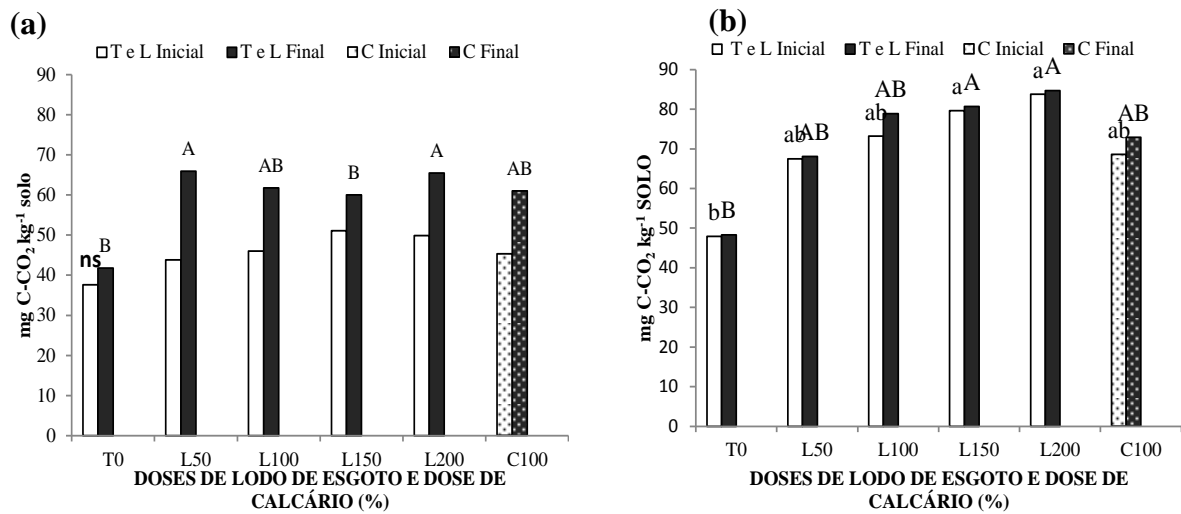
beneficiou a comunidade microbiana a partir das relações dos substratos orgânicos das raízes com a população microbiana (Alvarez et al., 2013). Contudo Coelho et al. (2007) relatam que estas respostas podem ser tanto positivas como negativas, estimulando o crescimento de um gênero e podendo causar inibição do crescimento de outro.

### **Respiração Basal**

Para o LVd textura média, houve ausência de resposta na determinação inicial da RB (Figura 3a), o que pode estar relacionado à desidratação das amostras durante 30 meses entre o primeiro e o segundo cultivo. O conteúdo de água no solo causa variações sazonais nas propriedades bioquímicas e na manutenção da integridade da superfície celular da BMS (Moreira & Siqueira, 2006), o giro metabólico (*turnover*), é controlado pelo ciclo de secagem e reidratação do solo podendo ocorrer seleção de microrganismos adaptados a condições adversas, e com o restabelecimento da umidade esta condição é revertida rapidamente (Gonçalves et al., 2007; Alves et al., 2011).

Neste estudo a determinação inicial da RB foi realizada 15 dias após a reidratação das amostras e para o solo LVd textura média pode não ter decorrido tempo suficiente para resposta da população microbiana à influência dos corretivos.

À medida que a rizosfera se estabeleceu devolveu as condições favoráveis à atividade microbiana, verificado pelas respostas obtidas na determinação ao final do experimento, onde a RB apresentou elevação do CO<sub>2</sub> desprendido para todos os tratamentos, inclusive o calcário, porém, sem diferença significativa entre eles, os tratamentos L50 e L200 foram superiores ao T0, demonstrando que mesmo com quantidade inferior a 10 Mg ha<sup>-1</sup> de de LEA recomendado, ainda apresentou efeito residual sobre a atividade metabólica da microbiota deste solo.



T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. As médias seguidas pela mesma letra (minúsculas-respiração basal inicial e maiúsculas-respiração basal final) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 3. Respiração Basal do solo em dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodos de esgoto e calcário, em cultivo de feijão. Período de incubação de sete dias, (a) LVd textura média; (b) LBw argiloso.**

As doses de referência de LEA e de calcário (L100 e C100), após o segundo cultivo já não influenciaram a RB, reforçando a importância da necessidade constante de correção da acidez do solo para o metabolismo microbiano neste solo que responde a baixas quantidades de corretivo. Os resultados menores encontrados no solo LVd textura média podem também indicar que há menor população e/ou menor diversidade na comunidade microbiana nativa, em função do menor teor de MO e pelo tipo de compostos orgânicos conferidos a este solo.

Para o solo LBw argiloso as respostas de RB apresentaram comportamento diferente. Nas duas determinações houve a mesma tendência (Quadro 3b), com respostas das doses L150 e L200 de lodo sobre a RB já na leitura inicial, mostrando efeito residual da adição de compostos orgânicos presentes neste lodo com permanência no solo após o segundo cultivo. As correlações entre as variáveis biológicas já no período inicial (Quadro 4) sem o estabelecimento da rizosfera podem ter relação com as maiores quantidades de LEA aplicado sobre este solo (Quadro 1), bem como a influência do tipo de solo sobre a atividade microbiana, resultados relatados também por outros autores (Andrea & Pettinelli, 2000; Silva et al., 2007; Ananyeva et al., 2008).



Os valores de RB nos dois solos avaliados para todos os tratamentos apresentaram-se abaixo da média de outros trabalhos com a mesma metodologia (Silva et al., 2007; Ananyeva et al., 2008), porém mostraram resultados significativos, indicando neste caso, que as variáveis de atividade microbiana responderam aos tratamentos aplicados mesmo após a desidratação dos solos.

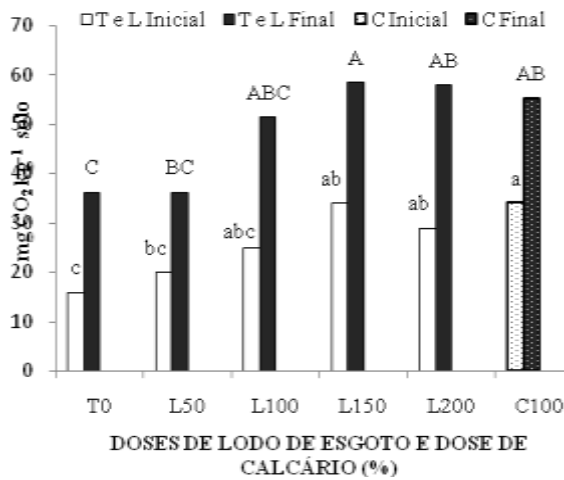
### **Biomassa microbiana do solo**

Para o parâmetro de BMS os dois solos apresentaram a mesma tendência, com respostas de efeito residual das maiores doses de lodo L150 e L200 e do tratamento com calcário, C100 (Figura 4a e Figura 4b). Para o solo de textura média houve maiores respostas da BMS e do COT (Quadro 3), para tratamento L150, os resultados de pH (Quadro 3) mostraram-se mais ácido para a dose que recebeu 150% de LEA, comparado a dose que recebeu 200%. Provavelmente, em função do pH do solo mais baixo, ocorreu o predomínio de fungos em relação as bactérias, e esses possuem massa total superior à das bactérias (Moreira & Siqueira, 2002, Vieira, 2011), o que se reflete nas maiores respostas do tratamento L150 para COT e também para BMS.

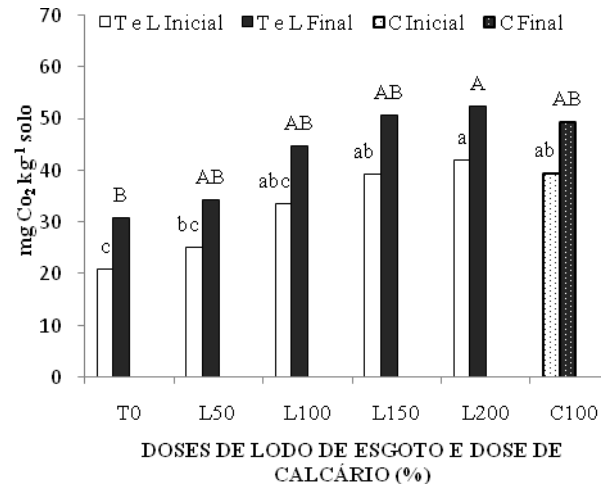
As respostas já na determinação inicial indicaram que após o primeiro cultivo havia efeito residual dos corretivos aplicados, sobre a comunidade microbiana do solo e as respostas mantiveram-se após o segundo cultivo. O acréscimo na BMS na determinação final pode indicar aumento da população de microrganismos do solo, estimulada pelos efeitos residuais positivos da correção da acidez do solo através dos corretivos e provavelmente do efeito residual de nutrientes nas maiores doses de lodo de esgoto. O incremento na avaliação final evidencia também um potencial efeito rizosférico da cultura do feijão. Neste caso, para os dois solos avaliados, doses de lodo até duas vezes superiores (L200) à dose recomendada, (12,80 e 72,58 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente para os solo LVd textura média e o para LBw argiloso, apresentaram efeito benéfico sobre a biomassa microbiana e atividade da microbiota do solo. Observações similares sobre respostas crescentes da BMS com aporte de material orgânico ao solo foram descritas por Alves et al. (2011). A dose de calcário para os dois solos, após dois cultivos também apresentou efeito residual sobre a BMS.

As fortes correlações significativas entre a BMS e todas as variáveis avaliadas pode indicar que a comunidade microbiana foi beneficiada pelas respostas das variáveis do solo e da planta.

(a)



(b)



T0-Testemunha; L50- 50%; L100-100%; L150-150%; L200-200% da dose necessária para elevar o pH até 5,5 com lodo de esgoto alcalinizado. C100 - 100% da dose para elevar o pH a 5,5 com calcário. As médias seguidas pela mesma letra (minúsculas - biomassa microbiana inicial e maiúsculas - biomassa microbiana final) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 4. Variação da Biomassa Microbiana do Solo nos dois períodos de determinação, sob efeito residual de doses de lodos de esgoto e uma dose de calcário em cultivo de feijão, (a) LVD textura média; (b) LBw argiloso**

Assim como a RB, as respostas para BMS verificadas neste estudo foram menores que as médias encontradas por outros autores, provavelmente em decorrência da desidratação das amostras. Porém mesmo nestas condições, após dois cultivos houve respostas significativas da BMS à adição dos corretivos.

O solo LBw argiloso, através do poder tamponante que possui, no tratamento de 200% da dose de lodo de esgoto alcalinizado recomendada para atingir o pH 5,5, recebeu a quantidade de 72,60 Mg ha<sup>-1</sup>, mantendo benefício para a atividade microbiana.

## 2.4. CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses de lodo de esgoto alcalinizado como corretivo da acidez do solo, obtidas pelo método da incubação para elevar o pH a 5,5, apresentaram efeito residual sobre o desenvolvimento da planta e sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo com feijão para os dois solos analisados.

2. As maiores doses (150% e 200%) dos lodos de esgoto alcalinizados apresentaram efeito residual sobre a produção de matéria seca da parte aérea e sobre o volume de raízes das plantas de feijão em segundo cultivo, para os dois solos analisados.

3. As doses (100% 150% e 200%) de lodo de esgoto alcalinado e a dose de calcário (100%) favoreceram a atividade microbiana nos dois solos cultivados com feijão, evidenciando também um potencial efeito rizosférico.

4. O efeito corretivo do lodo de esgoto alcalinado e do calcário, nas doses equivalentes apresentam respostas semelhantes, com efeito residual sobre as variáveis microbiológicas para os dois tipos de solos.

## 2.5. LITERATURA CITADA

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. & OLIVEIRA, F.C. Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Enxofre em Solos Tratados com composto de Lixo Urbano. R. Bras. Ci. Solo, 26:769-780, 2002.

ALCARDE, J.C. & RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ, V.V.H. (Eds.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003, p.291-334.

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P. (Ed.). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: Academic Press, p.214-219, 1995.

ÁLVAREZ, C.L.; OSORIO, N.W.; MONTROYA, M.M. Identificación molecular de microorganismos asociados a la rizosfera de plantas de vainilla en Colombia. Acta biol. Colomb. 18: 293-306, 2013.

ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M. & LOUREIRO, M.F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. Acta. Sci. Agron. 33: 341-347, 2011.

ANANYEVAA, N.D.; SUSYANA, E.A.; CHERNOVAB, O.V. & WIRTHC, S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia. Eur. J. Soil Biol. 44:147-157, 2008.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H.A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem.10:215-221, 1978.

ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O.N.; DIAS,N.S.; MEDEIROS, J.F. & BATISTA, R.O. Cotton production using secondary domestic sewage. Acta Scient. Tech.35:213-220, 2013.

- ANDREA, M.M. & PETTINELLI, A. Jr. Efeito de Aplicações de Pesticidas sobre a Biomassa e a Respiração de Microrganismos de Solos. *Arq. Inst. Biol.* 67:223-228, 2000.
- ARAÚJO, A.S.F. & MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Biosci. Journal*, 23:66-75, 2007.
- BETTIOL, W. & CAMARGO, O. Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura. 1 ed. Jaguariúna. Embrapa. 2006. 349p. Disponível em: [http://www.cnpma.embrapa.br/public/public\\_pdf21.php](http://www.cnpma.embrapa.br/public/public_pdf21.php) Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 312 p. Acesso em 15 abril 2012.
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria Orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo- Ecossistemas Tropicais & Subtropicais. 2 ed. p.45-61, 2008.
- CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.
- COELHO, L.F.; FREITAS, S.S.; MELO, A.M.T. & AMBROSANO, G.M.B. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *pseudomonas* e de *bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1413-1420, 2007.
- CORREA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C; FERNANDES, D.M. & PERES, M.G.M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1583-1590, 2008.
- COSTA, B. V.R.; BAYER, C.; VIEIRA, F.S.M.; ANGHINONI, I.E.; ERNANI, P. R. & MORAES, R. P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:189-198, 2013.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A. & FONTOURA, S.M.V. Aumento da matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:103-107, 2004.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Ed. Embrapa Solos. 2006.
- FARIAS, E.P.; ZONTA, E.; CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:875-882, 2005.
- GONÇALVES, A.S.; MONTEIRO, M.T.; GUERRA, J.G.M.; COSTANTIN, A.O. & DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras umedecidas após Secagem ao ar de solos de toposeqüência de pastagens. *Ci. Suelo*. 25:81-87, 2007.
- GRISI, B.M. Biomassa e atividade microbiana do solo: Revisão metodológica. *Re. Nord. Biol.* 10:1-22, 1995.

- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. OLIVEIRA, E.L.de (org.). Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 2003. 30p.
- INSAM, H.; MITCHELL, C.C. & DORMAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. *Soil Biol. Biochem.* 23:459-464, 2001.
- KONRAD, E. & CASTILHOS, D. Atividade microbiana em um planossolo após a adição de resíduos de curtume. *R. Bras. Agroci.* 7:131-135, 2001.
- LAMBAIS, M.R. & CARMO, J.B. Impacto da aplicação de biossólidos na microbiota de solos tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1129-1138, 2008.
- LIMA, V.C. Intemperismo de Rochas e Solos Característicos. Fundamentos de Pedologia. UFPR/SCA. Curitiba, 2004. 233p.
- LOSADA, M.R.M.; ZULOAGA, D.M. & RODRIGUEZ, A.R. Effects of lime and sewage sludge on soil, pasture production, and tree growth in a six-year-old *Populus Canadensis* Moench silvopastoral system. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 174:145-153, 2011.
- MODESTO, P.T.; SKABORA, M.H.; COLODRO, G.; MALTONI, K.L. & CASSIOLATO, A.M.R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1489-1498, 2009.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Os organismos do Solo. In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. UFLA, p.15-80, 2002.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Ecologia do Solo. In: *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. UFLA, p.81-152, 2006.
- NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M.; PEREIRA, B. F. F.; SALEMI, L. F.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L. Water type and irrigation time effects on microbial metabolism of a soil cultivated with Bermuda-grass Tifton 85. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 54: 477-786, 2011.
- PONTONI, D.R. Nutrição e crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de lodo de esgoto e calcário para solos subtropicais. Universidade Federal do Paraná. 2011. 39p. (Dissertação de mestrado).
- RICCI, A.B.; PADOVANI, V.C.R. & RODRIGUES, D.P. uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:543-551, 2010.
- ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M. & MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:623-639, 2004.
- SAMBATTI, I.G.; SOUZA JR, A.C.S. & COSTA, C.A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá-noroeste do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:257-264, 2003.

- SANTOS, J.A.; SANTOS, V.B. & ARAÚJO, A.S.F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. *Biosci. J.* 25:17-23, 2009.
- SERRAT, B. M.; SANTIAGO, T. R.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A. C. V.; SILVA, L.A.T.P. & ANDREOLI, C.V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solo. *R. Bras. Ci. Amb.* 19:30-37, 2011.
- SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S. & DE-POLLI, H.. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (BMS-C). Comunicado Técnico 98. EMBRAPA. 12p. 2007.
- SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Principal components analysis in the software Assistat-Statistical attendance. In *Word congress on computers in agriculture*, 7. Reno-ny-usa: american society of agricultural and biological engineers, 2009.
- SILVEIRA, A.P.D. & FREITAS, S.S. Microbiota do solo e qualidade ambiental. eds. IAC. p.193-218, 2007.
- TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V. & DOETZER, B.H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 51: 643-655, 2008.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BHENEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, planta e outros materiais. *Boletim Técnico* 5, 2 ed. Porto Alegre: UFRGS 1995. 174p.
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *Tópicos Especiais em Ciências do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.2. p.196-275.
- VENZKE-FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S. & CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais-Tibagi, PR. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 599-610, 2008.
- VIEIRA, G.A.; CASTILHOS, D. D. & CASTILHOS, R. M. V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:543-550, 2011.
- WONG, M., & SWIFT, R. Role of organic matter in alleviating soil acidity in farming systems. In: RANGEL, Z., ed. *Handbook of Soil Acidity*, Marcel Dekker, 2003. p.337-358.

## CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de doses de lodo de esgoto alcalinizado como corretivo da acidez do solo, obtidas pelo método da incubação para elevar o pH a 5,5, apresentaram efeito residual sobre o desenvolvimento do feijão, e sobre a atividade microbiana do solo em segundo cultivo para os três solos analisados.

As maiores doses (150% e 200%) dos lodos de esgoto alcalinizados apresentaram efeito residual sobre a produção de matéria seca da parte aérea e sobre o volume de raízes das plantas de feijão em segundo cultivo, para os três solos analisados.

As doses (100% 150% e 200%) de lodo de esgoto alcalinizado e a dose de calcário 100% apresentaram efeito residual favorável à atividade microbiana nos três solos cultivados com feijão, evidenciando também um potencial efeito rizosférico.

Os efeitos corretivos das doses equivalentes de lodo de esgoto alcalinizado e calcário apresentaram, após o segundo cultivo de feijoeiro, respostas semelhantes para os três tipos de solos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O assunto deve receber estudos adicionais e complementares, incorporando outras análises como avaliações do N total e de atividades enzimáticas no sentido de permitir aumentar as inferências sobre a comunidade microbiana do solo e seu comportamento.

A metodologia utilizada para mensurar a biomassa microbiana do solo, utilizada neste estudo, baseada na respirometria foi escolhida para esta pesquisa por ser de baixo custo e, principalmente por ser de baixo impacto ambiental e baixo risco à saúde humana.

O ambiente do sistema solo é extremamente complexo e dinâmico, portanto recomenda-se também em estudos de efeito residual de aplicação de materiais como o lodo de esgoto, o monitoramento paralelo com análises químicas que venham assegurar a ausência de elementos e compostos potencialmente prejudiciais, bem como a inclusão de análises físicas do solo proporcionando assim, maior conhecimento das interações que ocorrem no ambiente solo (temperatura e umidade), e as relações com as respostas microbiológicas.

Para consolidar os resultados encontrados, recomenda-se a repetição deste experimento de efeitos residuais em condições reais de campo, onde não ocorre às restrições conferidas pelo volume e manipulação das amostras de solo e pelas oscilações de temperaturas no interior da casa de vegetação. Destaca-se ainda, para melhor avaliação dos efeitos residuais do lodo, a importância de experimentos a campo de longa duração.



### Apêndice 1

Valores de Coeficientes de Variação e Diferença Mínima Significativa para as variáveis avaliadas, análises estatísticas ao nível de 5% de probabilidade.

<b>LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico textura média</b>		
<b>VARIÁVEIS</b>	<b>Valores</b>	
	<b>CV(%)</b>	<b>dms</b>
<b>MSPA</b>	5,94	2,098
<b>VR</b>	14,33	10,261
<b>COTF</b>	4,88	4,00
<b>pH Final</b>	0,96	0,121
<b>RB Inicial</b>	11,76	14,727
<b>RB Final</b>	14,37	23,43
<b>BMS Inicial</b>	18,03	12,801
<b>BMS Final</b>	12,35	16,985
<b>RE Teste T</b>	6,98	46,871
<b>RE Interação: Doses/Datas</b>		
<b>Doses</b>	15,32	25,82
<b>Datas</b>	15,32	33,07
<b>q CO<sub>2</sub></b>	5,81	0,026

MSPA= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final;

RE= respiração edáfica; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico: qCO<sub>2</sub>=quociente metabólico

## Apêndice 2

Valores de Coeficientes de Variação e Diferença Mínima Significativa para as variáveis avaliadas, análises estatísticas ao nível de 5% de probabilidade.

<b><u>LATOSSOLO VERMELHO Distroférico muito argiloso</u></b>		
<b>VARIÁVEIS</b>	<b>Valores</b>	
	<b>CV(%)</b>	<b>dms</b>
<b>MSPA</b>	2,81	0,754
<b>VR</b>	10,61	1,061
<b>COT</b>	2,46	2,546
<b>pH Final</b>	0,95	0,119
<b>RB Inicial</b>	13,76	20,932
<b>RB Final</b>	15,19	28,256
<b>BMS Inicial</b>	13,77	12,204
<b>BMS Final</b>	16,50	16,154
<b>RE Teste T</b>	20,66	87,520
<b>RE Interação: Doses/Datas</b>		
<b>Doses</b>	18,67	24,11
<b>Datas</b>	18,67	30,89
<b>q CO<sub>2</sub></b>	13,24	0,078

MSPA= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final;

RE= respiração edáfica; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico: qCO<sub>2</sub>=quociente metabólico

### Apêndice 3

Valores de Coeficientes de Variação e Diferença Mínima Significativa para as variáveis avaliadas, análises estatísticas ao nível de 5% de probabilidade.

<b><u>LATOSSOLO BUNO Ácrico argiloso</u></b>		
<b>VARIÁVEIS</b>	<b>Valores</b>	
	<b>CV(%)</b>	<b>dms</b>
<b>MSPA</b>	9,06	2,539
<b>VR</b>	25,81	13,878
<b>COT</b>	1,64	1,882
<b>pH Final</b>	0,72	0,095
<b>RB Inicial</b>	13,69	26,193
<b>RB Final</b>	13,60	29,165
<b>BMS Inicial</b>	17,99	16,475
<b>BMS Final</b>	17,07	20,499
<b>RE Teste T</b>	10,81	54,853
<b>RE Interação: Doses/ Datas</b>		
<b>Doses</b>	20,04	27,88
<b>Datas</b>	20,04	35,71
<b>q CO<sub>2</sub></b>	18,35	0,020

MSPA= Matéria seca da parte aérea; VR= volume de raízes; BMI=biomassa microbiana inicial; BMF= biomassa microbiana final; RBI= respiração basal inicial; RBF= respiração basal final;

RE= respiração edáfica; pHF= pH final; COTF= carbono orgânico: qCO<sub>2</sub>=quociente metabólico