MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Tese

Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios

Edenara De Marco

Pelotas, 2020

Edenara De Marco

Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientador: Prof. Dr. Danilo Dufech Castilhos

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M321a Marco, Edenara De

Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios / Edenara De Marco ; Danilo Dufech Castilhos, orientador. — Pelotas, 2020.

106 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Resíduo agroindustrial. 2. Reciclagem agrícola. 3. Qualidade do solo. 4. Planossolo. I. Castilhos, Danilo Dufech, orient. II. Título.

CDD : 631.41

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Edenara De Marco

Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água), Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 20 de março de 2020.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Danilo Dufech Castilhos (Orientador)
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.ª Dr.ª Rosa Maria Vargas Castilhos
Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr.ª Vanessa Sacramento Cerqueira
Doutora em Microbiologia Agrícola e do Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Adilson Luis Bamberg
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Agradecimentos

A Deus por me guiar e proteger, porque pela fé me tornei mais forte e consegui superar todos os desafios e percalços até aqui.

A minha mãe Cleunice, por ser meu porto seguro, me apoiar e acreditar em mim. Ao meu pai Ademar, por cuidar de mim, mesmo a muitos quilômetros de distância e por me apoiar sempre. Ao meu esposo Savio, companheiro de vida, que não mede esforços para me ver bem, que esteve comigo nos momentos difíceis ao longo de toda trajetória acadêmica. A minha sogra Mirta por todo carinho, atenção e cuidado que sempre dedicou a mim, como uma mãe.

Ao Professor Danilo Castilhos, por me orientar, incentivar e apoiar durante esses anos, por ser exemplo de profissional e de pessoa, por conseguir transmitir muito além de conhecimento, mas valores importantes como amor pelo trabalho, dedicação em ensinar, leveza e respeito ao tratar com todos.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel e ao Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Aos professores que compartilharam seus conhecimentos e agregaram na minha caminhada ao longo desses três anos de doutorado, foram fundamentais e me mostraram um universo até então pouco conhecido, despertaram em mim curiosidade e um carinho imenso pela área. Aos técnicos do Departamento de Solos, em especial a Rosane e a Larissa, que me acompanharam e deram suporte durante as análises.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, todos que de alguma maneira contribuíram para que esses anos fossem mais alegres, especialmente: Milena, Anderson, Giovana, Julia, Cristiano, Patrick, Thaís, Aline H., Pablo, Eliana, Marga, Gabriela, Mônica, Letícia e aos demais alunos e estagiários que convivi. Aos estagiários do Laboratório de Microbiologia do Solo: Thaís Thürmer e Matheus Klaus, pela dedicação e auxílio nas análises microbiológicas realizadas.

À CAPES pela bolsa de estudos.

Muito obrigada!

“Yo soy yo y mi circunstancia,

y si no la salvo a ella no me salvo yo.”

José Ortega y Gasset

Resumo

De Marco, Edenara. **Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento de plantas decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios.** 2020. 106 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A indústria de laticínios gera resíduos como o lodo, no tratamento de efluentes. Esses materiais, de acordo com o tipo de descarte podem causar impactos ambientais ou, quando aplicados ao solo, melhorar as suas propriedades e representar uma maneira econômica e benéfica de destinação. Os lodos também podem mostrar efeito residual em cultivos sucessivos e assim reduzir custos na produção agrícola. Com o objetivo de avaliar as alterações em alguns atributos químicos e microbiológicos de um Planossolo Háplico e no crescimento de plantas após a aplicação de lodo da indústria de laticínios, foram desenvolvidos três estudos. O primeiro estudo avaliou a alteração no pH do solo após a aplicação de doses crescentes de lodo da indústria de laticínios. Em experimento de incubação conduzido por 51 dias, com a aplicação das seguintes doses: 1- 0 g; 2- 8,19 g; 3- 16,38 g; 4- 32,76 g; 5- 49,14 g e 6- 65,52 g de lodo em 500g de solo. Concluiu-se que o lodo de laticínio não possui potencial de correção da acidez do solo para elevar e manter o pH a um valor ideal, entre 6 e 7. O segundo estudo determinou os efeitos da aplicação de lodo de laticínio nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no desenvolvimento de plantas de milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos de polietileno, com doses de: 1,65; 3,3; 4,95; 6,60 e 8,25 g kg^{-1}. O lodo proporcionou aumento do carbono orgânico, dos teores de fósforo, potássio e nitrogênio mineral no solo. Além favorecer o incremento de matéria seca das plantas, estimulou a atividade dos microrganismos do solo. Já, o terceiro estudo avaliou o efeito residual da aplicação de lodo de laticínio nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e no desenvolvimento da aveia preta. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e a semeadura da aveia preta se deu em solo já adubado após o cultivo de milho. Os resultados indicaram um efeito residual da aplicação de lodo de laticínio, que favoreceu a disponibilidade de nutrientes ao solo, a absorção pelas plantas e a atividade dos microrganismos. A dose de 6,60 g kg^{-1} proporcionou acúmulo de massa seca equivalente ao tratamento NPK.

Palavras-chave: Resíduo agroindustrial. Reciclagem agrícola. Qualidade do solo. Planossolo.

Abstract

De Marco, Edenara. **Chemical and biological soil changes and plant development affected by sludge from the dairy industry additions.** 2020. 106 p. Dissertation (PhD) - Graduate Program in Management and Conservation of Soil and Water. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The dairy industry produces residues such sludge, in wastewater treatment. These materials, according to the type of disposal, can cause environmental impacts or, when applied to the soil, improve its properties and represent an economical and beneficial way of disposal. Sludge can also show a residual effect on successive crops and thus reduce costs in agricultural production. Three studies were carried out in order to evaluate changes in some chemical and microbiological attributes of a Albaqualf (Planosol), and in plants growth after application of sludge from the dairy industry. The first study evaluated the soil pH changes after application of increasing doses of sludge from the dairy industry. The incubation experiment was conducted out for 51 days, with the application of the dollowinf doses: 1- 0 g; 2- 8.19 g; 3- 16.38 g; 4- 32.76 g; 5- 49.14 g and 6- 65.52 g of sludge in 500 g of soil. It was concluded that the dairy sludge does not have potential to correct soil acidity to raise and maintain the pH at an ideal value, between 6 and 7. The second study determined the effects of the application of dairy sludge, on soil chemical and microbiological attributes, and on corn plants development. The experiment was conducted in a greenhouse, in polyethylene pots, with doses of: 1.65; 3.3; 4.95; 6.60 and 8.25 g kg^{-1}. Dairy sludge increased the organic carbon, the levels of phosphorus, potassium and mineral nitrogen in soil. In addition favoring increase dry matter of plants, it stimulated the activity of soil microorganisms. The third study evaluated the residual effect of the application of dairy sludge on the chemical and microbiological soil attributes, and on the development of black oats. The experiment was carried out in a greenhouse and the black oats were sown in pots previously grown with corn. The results indicate a residual effect of the application of dairy sludge, which favored the availability of nutrients to soil, the absorption by plants and the activity of soil microorganisms. The dose of 6.60 g kg^{-1} provided an accumulation of dry mass equivalent to NPK treatment.

Key-words: Agro-industrial waste. Agricultural recycling. Soil quality. Albaqualf.

Lista de Figuras

Figura 1 - Valores de pH para doses crescentes de lodo de laticínio em 51 dias de incubação. 31

Figura 2 - Análise química do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho, (A) pH, (B) C orgânico, (C) nitrogênio, (D) fósforo, (E) potássio, (F) cálcio e (G) magnésio. 45

Figura 3 - Análise microbiológica do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, (A) Cmicrobiano, (B) Nmicrobino, (C) Cmic/Nmic, (D) COT/NT, (E) Cmic/COT, (F) Nmic/NT, (G) C-CO_2, (H) qCO_2, (I) C biodegradado e (J) Taxa de biodegradação..... 49

Figura 4 - (A) Teores de N total e (B) N mineral (NO_3^-, NH_4^+) do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio aos 62 dias de incubação. 51

Figura 5 - Análise química da parte aérea de plantas de milho submetidas a doses crescentes de lodo de laticínio. (A) Massa seca, Absorção de (B) nitrogênio, (C) fósforo, (D) potássio, (E) cálcio e (F) magnésio. 54

Figura 6 - Análise química do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho e aveia preta em sucessão, (A) pH, (B) C orgânico, (C) nitrogênio, (D) fósforo, (E) potássio, (F) cálcio e (G) magnésio. 68

Figura 7 - Análise microbiológica do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho e aveia preta em sucessão, (A) Cmicrobiano, (B) Nmicrobino, (C) Cmic/Nmic, (D) COT/NT, (E) Cmic/COT, (F) Nmic/NT, (G) C-CO_2, (H) qCO_2, (I) C biodegradado e (J) Taxa de biodegradação. 71

Figura 8 - Análise química da parte aérea de plantas de aveia preta submetidas ao residual de doses crescentes de lodo de laticínio, (A) Massa seca, Absorção de (B) nitrogênio, (C) fósforo, (D) potássio, (E) cálcio e (F) magnésio..... 74

Figura 9 - Plantas de milho cultivadas em Planossolo com aplicação de doses de lodo de laticínio, após 63 dias de cultivo. 92

Figura 10 - Plantas de aveia preta cultivadas em Planossolo sob efeito residual de doses de lodo de laticínio, após 100 dias de cultivo.....92

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo. 25

Tabela 2 - Caracterização do potencial agronômico do lodo de efluentes da indústria de laticínio, conforme recomendação da Resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente.....26

Tabela 3 - Concentrações de substâncias inorgânicas presentes no lodo de laticínio e a concentração máxima permitida segundo a Resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente.....27

Tabela 4 - Tratamentos e suas respectivas quantidades de insumos e resíduo aplicados (g vaso^{-1}). 37

Sumário

1. INTRODUÇÃO 12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1. Processo de geração e tratamento do efluente da indústria de laticínios 14
2.2. Caracterização do efluente e lodo da indústria de laticínios 17
2.3. Disposição de resíduos agroindustriais em solo agrícola 19
3. HIPÓTESES 23
4. OBJETIVOS 24
4.1. Objetivo geral 24
4.2. Objetivos específicos 24
5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS 25
5.1. Solo 25
5.2. Lodo 25
6. ESTUDO 1 - Comportamento da acidez do solo com aplicação de lodo da indústria de laticínios 28
6.1. Introdução 28
6.2. Material e métodos 29
6.3. Resultados e discussões 30
6.4. Conclusão 33
7. ESTUDO 2 - Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento do milho decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios 34
7.1. Introdução 34
7.2. Material e métodos 35
7.2.1. Crescimento e análise de plantas 37
7.2.2. Análise química e parâmetros microbiológicos do solo 38
7.2.2.1. Carbono da biomassa microbiana do solo 38
7.2.2.2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo 39
7.2.2.3. Respiração basal do solo 40
7.2.2.6. Quociente metabólico (qCO_2) 41

7.2.2.7. Relação entre C da biomassa microbiana e C total (C_{mic}/C_{total}) 41
7.2.2.8. Relação entre N da biomassa microbiana e N total (N_{mic}/N_{total}) 42
7.2.2.7. Relação entre C e N da biomassa microbiana (C_{mic}/N_{mic}) 42
7.2.3. Análise estatística 42
7.3. Resultados e discussão 42
7.4. Conclusão 56
8. ESTUDO 3 - Avaliação do efeito residual da aplicação do lodo da indústria de laticínios sobre o crescimento da aveia preta e parâmetros químicos e microbiológicos do solo 57
8.1. Introdução 57
8.2. Material e métodos 58
8.2.1. Crescimento e análise de plantas 60
8.2.2. Análise química e parâmetros microbiológicos do solo 61
8.2.2.1. Carbono da biomassa microbiana do solo 61
8.2.2.2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo 62
8.2.2.3. Respiração basal do solo 63
8.2.2.6. Quociente metabólico (qCO_2) 64
8.2.2.7. Relação entre C da biomassa microbiana e C total (C_{mic}/C_{total}) 64
8.2.2.8. Relação entre N da biomassa microbiana e N total (N_{mic}/N_{total}) 65
8.2.2.9. Relação entre C e N da biomassa microbiana (C_{mic}/N_{mic}) 65
8.2.3. Análise Estatística 65
8.3. Resultados e discussão 65
8.4. Conclusões 76
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS 77
10. REFERÊNCIAS 78
Apêndices 91

1. INTRODUÇÃO

O equilíbrio de um ecossistema se estrutura numa relação de igualdade entre os fluxos de entrada e saída de energia do sistema, de tal forma que haja uma ciclagem contínua dos elementos na natureza, proporcionando um ambiente favorável à manutenção deste estado. No entanto, devido ao aumento desordenado da população mundial e advento de tecnologias, criou-se uma situação de insustentabilidade em muitas regiões. Resíduos gerados pela atividade industrial, ou seja, subprodutos dos processos industriais que não são reaproveitados, é exemplo desse desequilíbrio (SEGATTO, 2001).

Novos conhecimentos e tecnologias têm conduzido à tendência de aproveitamento de fontes recicláveis no setor de fertilizantes, atendendo inclusive à Política Nacional de Resíduos Sólidos – instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - que determina a correta destinação e tratamento dos resíduos gerados ao longo das cadeias produtivas (CRUZ et al., 2017). A adição de resíduos orgânicos ao solo tem como propósito uma forma de descarte, mas o seu manejo pode ter como objetivo o uso do solo na decomposição orgânica desses materiais, como também, a reciclagem de nutrientes contidos nesses resíduos associada ao aumento da matéria orgânica dos solos. Portanto, a prática de disposição de resíduos no solo considera o resíduo como um insumo potencial, que, se bem manejado, beneficia as propriedades do solo (PIRES & MATIAZZO, 2008), se apresentando como uma alternativa interessante na destinação de resíduos agroindustriais.

A indústria de laticínios representa uma atividade de grande importância na economia mundial. A produção leiteira movimenta a economia de pequenas cidades brasileiras, e está presente em 99% dos municípios, essa atividade ajuda na distribuição de renda e gera empregos permanentes, principalmente no meio rural. Já no setor industrial, as empresas de laticínios representaram o segundo maior faturamento da indústria de alimentos no Brasil, ficando atrás apenas do setor de derivados da carne (ABIA, 2017). O nível de consumo atual é de cerca de 166,7 litros de leite/habitante/ano (CARVALHO et al., 2018) e para atender ao crescimento do consumo de lácteos e o crescimento da população, o volume anual produzido no Brasil em 2026 deverá atingir o patamar de 48 bilhões de litros (ZOCCAL, 2016). Entre as Unidades Federativas com maior aquisição de leite, Minas Gerais lidera com 25,8% da produção nacional seguido por Rio Grande do Sul (13,5%) e Paraná (11,7%) (IBGE, 2017).

Durante todas as etapas de produção do setor de laticínios, são gerados efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, que sem o devido controle e mitigação, possuem potencial para a geração de impactos ambientais (FEAM, 2014). A composição dos efluentes dessas indústrias consiste, principalmente, de quantidades variáveis de leite diluído, materiais sólidos flutuantes, detergentes, desinfetantes e lubrificantes, que são gerados em diversas operações durante o processamento do leite (HENARES, 2015).

Independentemente do tamanho e potencial poluidor da indústria, a legislação ambiental exige que todas as empresas tratem e disponham de forma adequada seus resíduos (SILVA, 2011). No tratamento dos efluentes da indústria de laticínio há geração de lodo biológico e uma alternativa para a reutilização desse resíduo, evitando sua disposição final em aterro, é a destinação em solo de uso agrícola, aproveitando seu possível potencial nutricional no desenvolvimento de culturas (FEAM, 2014).

Entre as diversas culturas de interesse econômico no Brasil, o milho se destaca por ser o segundo grão mais cultivado e exportado, perdendo apenas para a soja. Além disso, é o principal cereal componente para a produção de ração animal, voltado para um dos principais segmentos do comércio exterior do Brasil, a cadeia produtiva de carne animal. Segundo dados do IBGE, as duas principais regiões produtoras são a Sul e Centro-Oeste do país (SOUZA et al., 2018). Já, a aveia preta é a forrageira anual de inverno mais usada para pastejo no Sul do Brasil, por suas diversas características, como rusticidade, elevada produção de fitomassa, elevado teor nutritivo, adaptabilidade a cortes mecânicos e pastoreio. Está sendo usada como cultura de cobertura de solo e também como componente principal em pastagens anuais de inverno, isoladamente ou em consorciações (FONTANELI et al., 2009).

Sendo assim, considerando a necessidade de disposição adequada dos resíduos gerados nas agroindústrias, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as alterações em atributos químicos e biológicos do solo, bem como o crescimento de milho e aveia preta em resposta a aplicação de lodo da indústria de laticínios.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processo de geração e tratamento do efluente da indústria de laticínios

O processamento dos produtos lácteos envolve diversos compostos e substâncias como carboidratos, sais minerais, vitaminas e água. Os efluentes dessas indústrias são constituídos principalmente de leite diluído, materiais sólidos flutuantes, detergentes, lubrificantes, desinfetantes, areia, açúcar, pedaços de frutas (em caso da produção de iogurte), essências e condimentos diversos (no caso da produção de queijos e manteiga), que são diluídos na água de lavagem dos equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações (MACHADO et al., 2001; PORWAL et al., 2015; QASIM & MANE, 2013). A carga poluente deste efluente varia de acordo com a água utilizada, o tipo de processo e o controle sobre a descarga destes resíduos (NIRENBERG & FERREIRA, 2005). Em muitas indústrias de laticínio o soro é descartado junto com os demais efluentes, o que aumenta o potencial poluidor devido ao soro possuir alto valor nutritivo e elevadas cargas orgânicas. Por esse motivo sugere-se o tratamento de forma separada dos demais efluentes gerados no laticínio (SILVA, 2011).

Segundo um estudo realizado por Saraiva et al. (2009), o coeficiente de geração de efluentes de uma indústria de laticínios é de 3,5 L L^{-1} de leite processado, porém a geração de efluentes pode variar de 1,1 a 6,8 m^3 m^{-3} leite processado. A vazão varia ao longo do dia e depende diretamente das operações de processamento ou de limpeza. Existem também variações sazonais devidas às modificações introduzidas no perfil qualitativo e, ou, quantitativo da produção, nos horários de produção, nas operações de manutenção, entre outras (MACHADO et al., 2002). Diversas operações e ocorrências contribuem para a geração de efluentes na indústria de laticínios, algumas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Operações e processos que geram efluentes líquidos na indústria de laticínios

Operação ou processo	Descrição
Processo de higienização	- Enxágüe para remoção de resíduos de leite ou de produtos derivados, outras impurezas que ficam aderidos em latões de leite, tanques diversos (transporte, armazenamento, produção), tubulações de leite e mangueiras, bombas, equipamentos e utensílios diversos utilizados diretamente na produção; - Higienização de pisos e paredes; - Arraste de lubrificantes de equipamentos da linha de produção, durante as operações de higienização;
Descartes e descargas	- Descargas de misturas de leite e água por ocasião do início e interrupção de funcionamento de pasteurizadores, trocadores de calor, separadores e evaporadores; - Descarte de soro, água das tubulações de esgotamento de águas residuárias; - Descargas de sólidos de leite retidos em clarificadores; - Descarte de finos oriundos da fabricação de queijos; - Descarga de produtos e materiais de embalagem perdidos nas operações de empacotamento; - Produtos retornados à indústria;
Vazamentos e derramamentos	Vazamentos de leite em tubulações e equipamentos devido a: - Operação e manutenção inadequadas de equipamentos; - Transbordamento de tanques, equipamentos e utensílios diversos; - Negligência na execução de operações, o que pode causar derramamentos de líquidos e de sólidos diversos em locais de fácil acesso às tubulações de esgotamento de águas residuárias.

Fonte: SILVA (2011).

A indústria de laticínios caracteriza-se por utilizar grande quantidade de água nas operações de processamento e limpeza, tendo por outro lado, a geração de vazões elevadas de efluentes contendo nutrientes e poluentes orgânicos. Neste cenário, considera-se como atitude necessária a implementação de sistemas de tratamento de efluentes otimizados e integrados com a identificação dos pontos críticos de geração dos despejos líquidos no processo produtivo para que se tenha uma produção sustentável (SARAIVA et al., 2009).

O tratamento de efluentes realizado nas indústrias de laticínios é do tipo biológico, devido à grande quantidade de matéria orgânica facilmente degradável. A função do tratamento é remover a matéria orgânica do efluente líquido. Este processo é caracterizado pelo contato da matéria orgânica com a microflora em presença ou ausência de oxigênio (BRAILE; CAVALCANTI, 1979). No que diz respeito aos níveis de tratamento, estes são classificados em preliminar (remove somente sólidos grosseiros); primário (remove sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica); secundário (feitos por processos biológicos, objetiva a remoção da matéria orgânica e eventualmente nutrientes como o nitrogênio e o fósforo) e terciário (remove poluentes tóxicos ou compostos não biodegradáveis). As lagoas de estabilização são exemplos de processos biológicos definidos como ambientes aquáticos que apresentam pouca profundidade, e sua principal função é acelerar o processo de estabilização da matéria orgânica através da presença de microrganismos (aeróbios ou anaeróbios) (FALCO, 2005).

Durante as etapas do tratamento de efluentes são gerados resíduos, como os lodos, que também precisam passar por tratamento e/ou disposição final adequada (SILVA, 2013). No tratamento de efluentes são gerados resíduos de material lipídico, sobrenadante de decantadores primários e de caixas de gordura, sobre os quais a Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) veta a utilização agrícola. Já, no tratamento secundário são gerados os lodos biológicos que podem ser utilizados para fins agrícolas desde que atendam as recomendações da resolução citada.

A Danby Cosulati, empresa que forneceu o resíduo para o presente estudo, destaca-se como pioneira na produção de leite em pó e conta com a capacidade de industrialização de 450 mil litros/dia de leite em pó. Desde 2008, a indústria tornou-se apta a processar leite em pó integral, desnatado, instantâneo e leite condensado, totalizando a capacidade industrial de um milhão litros/dia. Neste contexto, destaca-

se a demanda por uma destinação adequada para o lodo biológico, gerado em quantidade significativa no processo de tratamento de efluentes da indústria de laticínio.

2.2. Caracterização do efluente e lodo da indústria de laticínios

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) mede o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química da matéria orgânica e, é o parâmetro mais utilizado no que se refere a poluição, pois possui intensa relação com a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica bioquimicamente. Estes parâmetros podem indicar a perda de produto durante o processo e ainda pode servir como principal indicador de eficiência dos processos de tratamento (BRIÃO, 2000). Segundo Saraiva et al. (2009), as linhas de processamento de queijo e manteiga, com a geração de soro e leitelho respectivamente, contribuem para o aumento de efluentes tanto em termos de volume quanto em termos de matéria orgânica.

Com isso, quanto maior o valor de DBO, maior é o potencial de redução da concentração de oxigênio dissolvido, utilizado pelos microrganismos para degradar a matéria orgânica (OLIVEIRA, 2016). Santos et al. (2013) em um trabalho com a utilização de efluente de laticínio em pastagem de capim Mombaça, caracterizaram o efluente líquido de laticínio e encontraram valores de DBO de 25.343,54 a 35.765,1 mg O_2 L^{-1} e valores de nitrogênio na forma amoniacal de 67,8 a 81,7 mg L^{-1}. Silva (2006) caracterizou o efluente de uma indústria de laticínios com processamento de 14.000,00 L/dia de leite e encontrou valores de DBO entre 496 e 1.712 mg O_2 L^{-1}.

Na indústria de laticínio, o efluente líquido é considerado o maior causador de poluição. Segundo Rodrigues e Marinho (2012), efluentes contendo elevados teores de lipídeos, como os provenientes de laticínios, causam grandes danos ao meio ambiente, como a formação de filmes de óleo nas superfícies d'águas, impedindo a difusão de oxigênio do ar para esse meio e promovendo, assim, a mortandade da vida aquática. Em 2004, Silveira estimou que aproximadamente 50% do soro da produção de laticínios produzidos no Brasil ainda eram descartados na natureza sem nenhum tipo de tratamento. Devido as legislações ambientais mais recentes, essa estimativa pode ter diminuído.

O soro do queijo, segundo Rodrigues e Marinho (2012), quando descartado junto com os efluentes líquidos, agrava o potencial poluidor desse efluente, pois possui DBO entre 30.000 a 50.000 mg O_2/L. O coeficiente DBO5/DQO do efluente de laticínio estudado por Silveira et al. (2009) em Minas Gerais foi de 0,58. Machado et al. (2002) destacam que os efluentes líquidos brutos (não tratados) de laticínios apresentam valores de DBO5/DQO na faixa de 0,50 a 0,70 e quanto maior for esse valor, maior será a fração biodegradável dos efluentes e mais indicado é o seu tratamento por processos biológicos. E ainda estimaram que uma indústria com produção média de 300.000 litros de soro por dia polui o equivalente a uma cidade com 150.000 habitantes.

Os resíduos sólidos provenientes do tratamento de efluentes da indústria de laticínios, o lodo biológico gerado no tratamento secundário e os resíduos da caixa de gordura e peneira, gerados no tratamento preliminar, são classificados como resíduos da Classe II (não perigosos) – A (não inertes), segundo a NBR 10.004 (FEAM, 2014). E para utilização agrícola e disposição ao solo o lodo deve se enquadrar nos parâmetros estabelecidos pela Resolução nº 375 do CONAMA.

Para fins de embasamento teórico, em análise do lodo biológico da indústria de laticínios Dália, de Arroio do Meio – RS, Segatto (2001) encontrou valores de pH de 7,2, teores de Nitrogênio total de 58 g kg^{-1}, sendo 1100 mg kg^{-1} de Amônio (NH_4^+) e 60 mg kg^{-1} de Nitrato (NO_3^-) + Nitrito (NO_2^-), 340 g kg^{-1} de carbono orgânico, 26 g kg^{-1} de Fósforo total, 5,3 g kg^{-1} de Potássio total, 241 mg kg^{-1} de Manganês e um poder de neutralização de 84 g kg^{-1}.

López-Mosquera et al. (2000) em um estudo de monitoramento de pastagens fertilizadas com lodo de laticínio na Espanha, encontraram no lodo teores de 2,6 kg m^{-3} de N; 2,4 kg m^{-3} de P_2O_5; 2,0 kg m^{-3} de CaO e 0,2 kg m^{-3} de MgO, para os teores de metais pesados, todos apresentaram valores bem abaixo dos permitidos pela legislação européia: 15,99 mg kg^{-1} de Cr; 11,04 mg kg^{-1} de Ni; 58,55 mg kg^{-1} de Cu; 289,74 mg kg^{-1} de Zn; 0,11 mg kg^{-1} de Cd; 0,08 mg kg^{-1} de Hg e 10,05 mg kg^{-1} de Pb. Segundo Brown et al. (1990) e García López et al. (1999), indústrias agrícolas, como as indústrias de laticínios, geram efluentes que quando tratados originam um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes minerais (particularmente N e P) e, como característica importante, com baixo teor de metais pesados. O lodo lácteo, composto por resíduos de leite, água e produtos de limpeza, já foi amplamente utilizado para fertilizar terras agrícolas (GRAS & MORISOT, 1974; MORISOT & GRAS, 1974; JUMP

et al., 1981; GUICHET, 1987; BROWN et al., 1990), geralmente em pastagens, em uma combinação com fertilizantes minerais e esterco de animais.

O lodo leiteiro caracterizado por Yadav et al. (2009) continha uma concentração de carbono orgânico de 28,5% e o total de N, P e K de 2300, 1000 e 1630 mg kg^{-1}, respectivamente. Esses resultados indicaram que o lodo de laticínios poderia ser usado como fonte de nutrientes para o cultivo de plantas e também para a estabilização das propriedades estruturais de solos degradados.

2.3. Disposição de resíduos agroindustriais em solo agrícola

A disposição de resíduos orgânicos em solos agrícolas vem sendo utilizada de forma crescente em nível mundial, devido a alguns tipos desses resíduos serem desprovidos de concentrações críticas de contaminantes, possuírem teores elevados de nutrientes para as plantas ou potencial corretivo da acidez do solo (SANTOS et al., 2011), sendo uma alternativa economicamente viável e, se bem conduzida, ambientalmente correta (SMITH, 2009).

O solo, por suas características químicas e biológicas, propicia as condições necessárias para a biodegradação de resíduos. Além disso, o resíduo orgânico pode disponibilizar nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes para as plantas e microrganismos, além de melhorar os atributos químicos e físicos do solo pela adição de matéria orgânica (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). A relação C:N é um importante parâmetro para a predição da decomposição do resíduo, indicando as possíveis transformações e disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes para as plantas (LORENZ & LAL, 2009).

Para Cruz et al. (2017), o uso e o aproveitamento de resíduos gerados por diversos segmentos do agronegócio vêm despontando. Diversos setores, como o sucroalcooleiro, bovinos de corte e leite, suínos e aves são grandes geradores de resíduos, que representam, em graus distintos de intensidade, passivos ambientais para seus respectivos segmentos. Tais resíduos, além de apresentarem um bom potencial para suprimento de parte da necessidade de nutrientes para vegetais, podem contribuir para a solução de significativos passivos ambientais. Além do aproveitamento e da correta destinação, podem melhorar a estrutura do solo por meio da adição de matéria orgânica, propiciando benefícios adicionais à planta, por meio do aumento da taxa de absorção dos nutrientes. Esse efeito, aliado à oferta de

nutrientes provenientes dos resíduos, representa significativo potencial de economia de nutrientes e, consequentemente, de redução da dependência de fontes minerais que o setor agrícola brasileiro apresenta atualmente.

O setor de saneamento ambiental enfrenta atualmente dificuldades crescentes com o gerenciamento dos resíduos gerados nas estações de tratamento de efluentes (MARQUES et al., 2007). Entre esses resíduos, o lodo destaca-se como o mais crítico em função da grande quantidade gerada e dos custos elevados de gerenciamento, principalmente no que diz respeito ao processamento e disposição final (PAGORINI & ANDREOLI, 2006). Há uma tendência do aumento considerável da quantidade de lodo, sobretudo em virtude do crescimento populacional e industrial (VIEIRA, 2015). Nesse sentido, as indústrias empregam grandes esforços para promover a destinação final dos lodos e a crescente produção deste tem levado ao desenvolvimento de novas alternativas de disposição final, as quais atendam aos requisitos ambientais e ao mesmo tempo sejam economicamente viáveis (RIBEIRO et al., 2012).

A aplicação de resíduos como lodos de estação de tratamento de efluentes pode alterar positivamente a fertilidade e atividade dos microrganismos do solo, como já demonstrado em diversos trabalhos: Andrade et al. (2016) utilizaram lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial e a atividade microbiana aumentou com a aplicação deste resíduo, sendo a mineralização de carbono proporcional às doses aplicadas, demonstrando potencial de uso deste lodo em solo agrícola. Vieira et al. (2011) estudaram o uso agrícola de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz e concluíram que a aplicação, em doses recomendadas, traz benefícios à atividade microbiana do solo. Já, utilizando lodos de curtume, Konrad & Castilhos (2002) observaram que o lodo com cromo proveniente do tratamento primário de efluentes, quando aplicado juntamente com calcário, apresenta rendimento de milho semelhante a adubação mineral e calcário. Cavallet & Selbach (2008) também utilizaram lodo de curtume e concluíram que de alguma forma, este resíduo favoreceu o aumento das populações de bactérias, fungos e actinomicetos no solo. Júnior et al. (2008) observaram que lodo de esgoto e vinhaça, em diferentes combinações, doses e formas de aplicação em comparação a fertilização mineral, não altera a qualidade da matéria-prima de cana-de-açúcar, destacando o expressivo potencial da utilização desses resíduos. Ao avaliar o uso de lodo de esgoto em base sólida no cultivo de mamona, Silva et al. (2017) destacou a

viabilidade agronômica deste resíduo e o considerou como uma fonte alternativa de adubação orgânica para esta oleaginosa.

Usando lodo de esgoto industrial da indústria de laticínios, Machado e Barros Trannin (2015) concluíram que esse tipo de resíduo pode ser empregado como uma boa fonte de nutrientes, principalmente N e P, para culturas anuais ou perenes. Eles também enfatizaram que é necessário avaliar as necessidades nutricionais da cultura para a qual o resíduo será aplicado, bem como questões de segurança ambiental, aspectos econômicos e a necessidade de suplementação mineral.

Por outro lado, a adição de resíduos contendo excesso de metais pesados ao solo pode diminuir a atividade microbiana do solo pela sua toxidez e também afetar outros organismos, como plantas e até mesmo animais (SEGATTO et al., 2012). Portanto, a utilização de resíduos industriais para fins agrícolas requer um estudo prévio sobre o efeito destes em possíveis alterações das propriedades do solo. Além das condições químicas do solo, os microrganismos são os principais indicadores da qualidade do solo, pois são muito sensíveis as alterações, respondendo rapidamente as novas condições ambientais resultantes das práticas de manejo (ULTRA et al., 2005; STROMBERGER et al., 2007), destacando a importância de estudos que envolvam a análise química e também biológica do solo na disposição de resíduos em solos agrícolas.

A principal característica dos resíduos de atividades agroindustriais é a alta concentração de material orgânico, que é responsável por um dos maiores impactos causados por resíduos sólidos orgânicos, formando ácidos orgânicos através da fermentação, causando maus odores, reduzindo o oxigênio dissolvido em águas superficiais e contaminando o solo, quando disposto inadequadamente (GOPINATHAN & THIRUMURTHY, 2012).

Sérios danos ambientais têm sido causados devido ao descarte inadequado de resíduos, como destacado por Pires e Matiazzo (2008), sejam esses de origem rural, industrial ou urbana. A destinação adequada desses materiais é discutida e estudada amplamente, sendo que sua reciclagem racional em solo agrícola tem sido considerada por muitos como a opção mais interessante, tanto sob o ponto de vista ambiental como econômico. A escolha do meio de disposição mais adequado de um resíduo deve ser feita com base em uma avaliação detalhada, que considera desde o processo gerador do resíduo até os efeitos de sua disposição em longo prazo. Uma importante opção de reciclagem é o uso de resíduos em solos agrícolas, quando a

adição desses resultar em benefícios agronômicos, como aumento dos teores de matéria orgânica e de nutrientes do solo. A avaliação da viabilidade de reciclagem de um resíduo na agricultura deve ser cuidadosa e detalhada, evitando-se que uma atividade desejável sob o ponto de vista ambiental torne-se prejudicial ao meio ambiente.

Embora a aplicação de lodos de tratamento de efluentes como insumo alternativo, na melhoria das características do solo represente uma boa opção, explorando um potencial inexplorado, alguns autores também apontaram riscos associados a essa atividade, como a presença de metais pesados e contaminantes orgânicos na composição do lodo que podem se acumular nas camadas do solo e serem transportados pela cadeia alimentar. Além disso, a presença de microrganismos patogênicos deve ser considerada para lodos industriais e sanitários (Lu et al., 2012). A possibilidade de lixiviação de poluentes de lodos, quando aplicados ao solo, para corpos d'água também precisa ser levada em consideração. Poluentes com alta mobilidade através das camadas do solo, como o nitrato, apresenta riscos ao meio ambiente (Lu et al., 2012; Machado e Barros Trannin, 2015). A alta presença de poluentes como N e P nos corpos d'água pode levar à eutrofização e causa riscos à saúde humana se a água for usada pela população (Carvalho et al., 2013).

Embora a literatura mundial seja muito ampla em termos de efeitos causados pela aplicação de lodos urbanos em solos e culturas, há escassez de estudos sobre a influência da adição de lodo da indústria de laticínios na capacidade produtiva dos solos e as alterações químicas e microbiológicas do solo decorrente da aplicação deste resíduo. O avanço em pesquisas que avaliem o aproveitamento de lodos agroindustriais é de grande importância, por serem resíduos gerados em grande escala e que também, no caso da indústria de laticínios, vem aumentando regionalmente devido ao crescimento dessa atividade no Rio Grande do Sul.

3. HIPÓTESES

O lodo da indústria de laticínios tem efeito sob a acidez e fertilidade quando aplicado ao solo.

O lodo da indústria de laticínios beneficia as características químicas e microbiológicas do solo.

O lodo da indústria de laticínios pode ser utilizado como alternativa na nutrição de plantas e apresenta efeito residual para o cultivo em sucessão sem reaplicação.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Avaliar as alterações nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e o crescimento de plantas após a aplicação de lodo da indústria de laticínios.

4.2. Objetivos específicos

Determinar os efeitos da aplicação de lodo de laticínio em diferentes doses, no desenvolvimento das culturas do milho e aveia preta.

Estabelecer as mudanças nas características químicas e biológicas do solo após a aplicação de doses de lodo de laticínio.

5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

5.1. Solo

Foi utilizado a camada de 0-20 cm de um Planossolo Háplico, coletado no dia 10 de outubro de 2017, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão – RS.

Após a coleta, foi realizada análise química, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Pelotas. O solo apresentou as características descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo.

Parâmetro	Concentração	Parâmetro	Concentração
Argila (%)	21,0	Magnésio ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,8
pH	4,0	Enxofre ($mg\ dm^{-3}$)	38,2
Índice SMP	4,8	Sódio ($mg\ dm^{-3}$)	32,0
Matéria Orgânica (%)	2,62	Manganês ($mg\ dm^{-3}$)	18,2
CTC $_{pH\ 7,0}$ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	19,1	Cobre ($mg\ dm^{-3}$)	0,3
CTC $_{efetiva}$ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	5,5	Zinco ($mg\ dm^{-3}$)	0,9
Fósforo ($mg\ dm^{-3}$)	11,5	H+Al ($cmol_c\ dm^{-3}$)	17,3
Potássio ($mg\ dm^{-3}$)	21,0	Saturação de Al (%)	67,3
Cálcio ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,8	Saturação de Bases (%)	9,0

5.2. Lodo

O lodo biológico foi coletado no dia 05 de outubro de 2017, na estação de tratamento de efluentes da indústria de laticínios Danby Cosulati, localizada na Rua Pedro Bachini Sobrinho, 441, Bairro Jardim América, no município de Capão do Leão - RS.

Após a coleta do lodo biológico, na lagoa de aeração - etapa de tratamento secundário do efluente, foi realizada a secagem do resíduo e prosseguiu-se a caracterização. Na Tabela 2 são apresentados os valores referentes ao potencial agronômico e estabilidade do lodo de laticínio.

Tabela 2 - Caracterização do potencial agronômico e estabilidade do lodo de efluentes da indústria de laticínio.

Parâmetro	Concentração	Parâmetro	Concentração
Carbono Orgânico (%)	39,78	Magnésio (g kg^{-1})	2,96
Fósforo (g kg^{-1})	34,0	Ferro (mg kg^{-1})	2799,7
Nitrogênio (g kg^{-1})	66,3	Manganês (mg kg^{-1})	508,3
pH em água	3,9	Relação C/N	6/1
Potássio (g kg^{-1})	2,2	Poder de Neutralização (%)	16,4
Sódio (g kg^{-1})	9,47	Umidade (%)	82
Enxofre (g kg^{-1})	12,46	Sólidos voláteis (g kg^{-1})	214,54
Cálcio (g kg^{-1})	35,9	Sólidos totais (g kg^{-1})	739,70

Para os dados obtidos na Tabela 2, destaca-se a concentração de nitrogênio presente no lodo em estudo, demostrando o alto potencial como fonte alternativa deste nutriente, justificando sua utilização em solos agrícolas.

Segundo a Resolução nº 375/06 do CONAMA - Art. 7º § 6°: Para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70. Para os dados de caracterização (metodologia SMEWW 23rd 2540) obtidos, a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais para o lodo em estudo é de 0,29. A concentração de coliformes termotolerantes (metodologia EPA Vol. 82, Nº 165) no lodo de laticínio foi <1,80 NMP/g de ST, e segundo o Art. 11, o lodo com concentração de coliformes termotolerantes $<10^3$ NMP/g de ST pode ser considerado do tipo A, se atender ainda outros parâmetros como: Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST; Salmonella - ausência em 10 g de ST e Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST. Pela natureza do lodo em estudo pode-se inferir que os limites exigidos para tais parâmetros seriam atendidos.

A Resolução utilizada classifica: Lodos de esgoto ou produto derivado enquadrados como classe A poderão ser utilizados para quaisquer culturas, respeitadas as restrições previstas nos arts. 12 e 15. A utilização de lodo de esgoto ou produto derivado enquadrado como classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitadas as restrições previstas no art. 15 e no inciso XI, do art. 18.

Na Tabela 3 verifica-se as concentrações de substâncias inorgânicas presentes no lodo de laticínio e a concentração máxima permitida segundo a Resolução nº 375/06 do CONAMA. Tal Resolução apresenta parâmetros mais rígidos frente a outras, por isso foi tomada como diretriz para o presente estudo.

Tabela 3 - Concentrações de substâncias inorgânicas presentes no lodo de laticínio e a concentração máxima permitida segundo a Resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Substâncias inorgânicas	Lodo de laticínio	CONAMA
	mg kg^{-1}	
Bário	6,33	1300
Cádmio	0,00	39
Chumbo	2,67	300
Cobre	32,7	1500
Cromo	0,67	1000
Molibdênio	2,00	50

Segundo os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura, estabelecidos na Resolução nº 375 do CONAMA, para os parâmetros acima caracterizados, o lodo em estudo é considerado apto para uso agrícola.

6. ESTUDO 1 - Comportamento da acidez do solo com aplicação de lodo da indústria de laticínios

Resumo - A prática de disposição de resíduos orgânicos ao solo, dependendo das características do material, pode considerar o resíduo como um insumo potencial, que, se bem manejado, pode beneficiar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a alteração no pH do solo após a aplicação de doses crescentes de lodo da indústria de laticínios. O experimento foi conduzido no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Pelotas, disposto em delineamento completamente casualizado, com três repetições. Utilizou-se como unidade experimental 500g de solo disposto em saco de polietileno. A dose recomendada de lodo da indústria de laticínios, em base úmida, foi definida pela necessidade de N para a cultura do milho: 65,52 g kg^{-1}. A partir dessa dose estabeleceu-se diferentes os percentuais de: 0, 25, 50, 100, 150 e 200% da dose recomendada, resultando nas respectivas doses: 0 g; 1,64 g; 3,28 g; 6,55 g; 9,83 g e 13,10 g kg^{-1}. Foram realizadas coletas aos 16, 22, 29, 39 e 51 dias de incubação. Todos os tratamentos apresentaram efeito sobre a acidez do solo, a dose de lodo de laticínio de 13,10 g kg^{-1} apresentou maior efeito, elevando o pH a 4,82 aos 16 e 22 dias de incubação. A partir dos 39 dias de incubação observou-se o decaimento nos valores de pH em todos os tratamentos, demostrando a perda de um possível potencial corretivo do lodo da indústria de laticínio. Pode-se concluir que o lodo da indústria de laticínio tem efeito sob a acidez do solo, porém não possui potencial de correção da acidez do solo para elevar e manter o pH a um valor ideal, entre 6 e 7, para o desenvolvimento das plantas, necessitando de aplicação calcário.

6.1. Introdução

Os resíduos industriais e orgânicos, como os lodos de laticínios, causam impactos ambientais em diversos níveis. No entanto, podem apresentar potencial para a correção da acidez e a fertilização do solo. Para reduzir os impactos ambientais é necessário o estudo e desenvolvimento de alternativas para a utilização desses resíduos (LOPES et al., 2018). As questões ambientais práticas visando o uso de resíduos como os lodos vêm sendo estudadas nos últimos anos a fim de reduzir o

impacto de suas deposições e reduzir os custos para as indústrias (GROTTO et al., 2013; FREITAS et al., 2015).

A prática de disposição de resíduos orgânicos ao solo, dependendo das características do material, pode considerar o resíduo como um insumo potencial, que, se bem manejado, pode beneficiar diversas propriedades do solo, químicas, físicas e biológicas. Diversos estudos demonstraram benefícios econômicos do uso de lodos, principalmente no fornecimento de nutrientes ao solo, em áreas de cultivo agrícola (SIMONETE et al., 2003; CASADO-VELA et al., 2006; MELO et al., 2007; SELMA et al., 2010; NOGUEIROL et al., 2013).

No manejo nutricional de culturas, entre os vários fatores envolvidos, a fertilização e correção da acidez do solo são de grande importância. Na agricultura, os calcários são utilizados para a melhoria das condições do solo, principalmente pela elevação do pH, neutralização do Al trocável, fornecimento de Ca e de Mg, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas (KAMINSKI, 1989). Alguns resíduos orgânicos podem contribuir para o fornecimento desses nutrientes e principalmente na neutralização do pH dos solos.

Com isso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a alteração no pH do solo após a aplicação de doses crescentes de lodo da indústria de laticínios, em condições de incubação.

6.2. Material e métodos

Utilizou-se como unidade experimental 500 g de solo disposto em saco de polietileno. A dose recomendada de lodo da indústria de laticínios, em base úmida, foi definida segundo a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (CQFS RS/SC, 2016), pela necessidade de N para a cultura do milho: 65,52 g kg^{-1}. A partir dessa dose estabeleceu-se diferentes os percentuais de: 0, 25, 50, 100, 150 e 200% da dose recomendada, resultando nas respectivas doses: 0 g; 1,64 g; 3,28 g; 6,55 g; 9,83 g e 13,10 g kg^{-1}.

O lodo biológico da indústria de laticínios apresentou as seguintes características: Poder de Neutralização 16,4%; pH_{H2O} 3,9; C orgânico 380 g kg^{-1}; N 66,3 g kg^{-1}; P 34 g kg^{-1}; K 2,2 g kg^{-1}; Ca 35,9 g kg^{-1} e Mg 2,9 g kg^{-1}. O solo utilizado neste estudo, classificado como Planossolo Háplico, apresentou: pH_{H2O} 4,0; Matéria

Orgânica 2,62%; Argila 21%; S 38,2 mg dm^{-3}; P (Mehlich) 11,5 mg dm^{-3}; K 21 mg dm^{-3}, Al 3,7 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al 17,3 cmolc dm^{-3}; $CTC_{efetiva}$ 5,5 $cmol_c$ dm^{-3} e Índice SMP 4,8.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Pelotas, disposto em delineamento completamente casualizado, com três repetições, totalizando 18 unidades experimentais.

O solo foi previamente misturado com o lodo (massa úmida) e acondicionado nos sacos de polietileno buscando-se um bom assentamento das partículas. Foi mantida condições de umidade favoráveis, irrigando quando necessário. Os sacos foram mantidos fechados, porém o solo era revolvido e exposto ao ar por 15 a 30 minutos, diariamente. Foram realizadas coletas aos 16, 22, 29, 39 e 51 dias de incubação. As determinações de pH foram realizadas em extrato com água, com relação solo água 1:1 (v/v), seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), utilizando pHmetro digital.

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância através do teste F ($p \leq 0,05$). Constatando-se significância estatística, os efeitos das doses foram comparados pelo modelo de regressão: $y = yo + ax + bx^2$, a seleção do modelo foi baseada no baixo p-valor e alto R^2. Foram utilizados os programas WinStat versão 1.0 e SigmaPlot versão 11.0.

6.3. Resultados e discussões

As variações nos valores de pH das doses de lodo apresentaram um comportamento quadrático ao longo dos tempos de coleta (Figura 1). Todos os apresentaram efeito sobre a acidez do solo. A dose de 13,10 g kg^{-1} apresentou maior efeito de elevação do pH, elevando a 4,82 aos 16 e 22 dias de incubação. A partir dos 39 dias de incubação observou-se o decaimento nos valores de pH para todos tratamentos estudados, demostrando a perda de um possível potencial corretivo do lodo da indústria de laticínio.

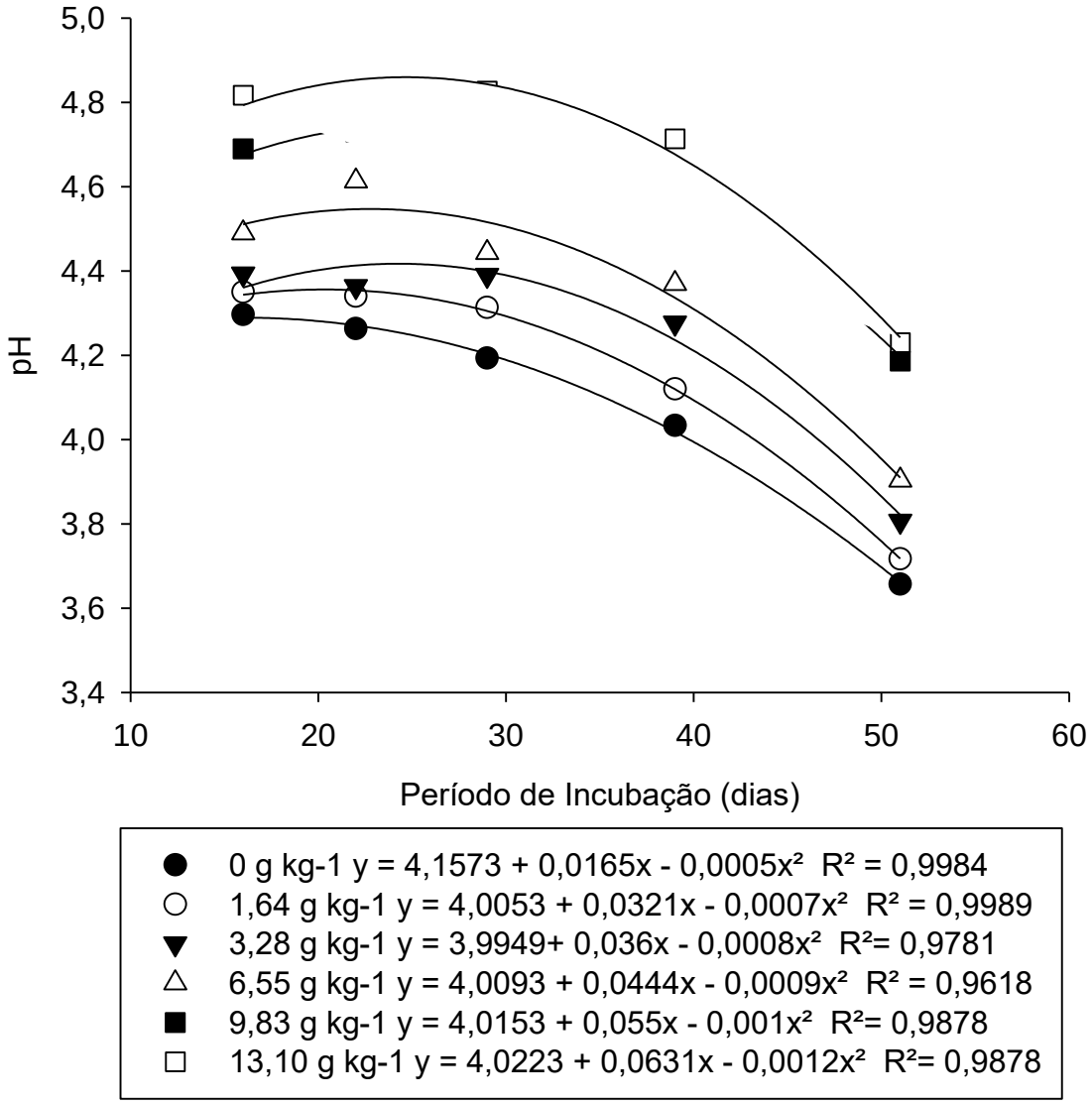

Figura 1 - Valores de pH para doses crescentes de lodo de laticínio em 51 dias de incubação.

Os resultados demonstraram que o lodo da indústria de laticínio não possui potencial de neutralização da acidez do solo suficiente para elevar o pH a um valor ideal para o desenvolvimento da maioria das plantas, necessitando da aplicação de calcário.

A maioria das plantas se desenvolve bem em um intervalo de pH de 6,0 a 7,0, não por causa do próprio valor do pH, mas porque a disponibilidade de nutrientes é um fator dependente do pH (SHAND, 2007). Justina et al. (2018) em um trabalho de incubação obtiveram pH 7,0 com a aplicação de uma dose de 5,65 g kg^{-1} de lodo de laticínio seco por calor, porém, com a adição de cal no processo de secagem.

Em outros trabalhos com a utilização de lodo de laticínio (NATARAJAN et al., 2015) e lodo de estação de tratamento de esgoto (COSTA et al., 2014) foram realizados tratamentos nos lodos, como a vermicompostagem e a calagem, respectivamente. Os autores verificaram a melhora nas propriedades dos resíduos tornando-os mais atrativos para utilização agrícola.

Em solos tratados com lodo de esgoto, sem adição de calcário, Boeira et al. (2007) e Trannim et al. (2008) constataram a acidificação do solo. O mesmo foi verificado por Souza et al. (2007) ao aplicar lodo de esgoto em solos agrícolas, e constataram que a acidificação se deve principalmente a dissociação de prótons ligados aos grupos funcionais $COOH^-$ e OH^- da matéria orgânica, além da decomposição do lodo pela atividade microbiana, que durante o processo libera CO_2 em um ambiente fechado, podendo formar HCO_3^-, acidificando o meio. Além da mineralização do C, N e S presente nos resíduos orgânicos, a qual libera prótons para o meio. Rezig et al. (2012) observaram que a aplicação de lodo de esgoto em um experimento de campo com duração de dois anos, diminuiu o pH do solo na dose de 5 g kg^{-1} em comparação com a área de controle.

Para López-Mosquera et al. (2002) a aplicação de lodo de laticínio sem adição de calcário, em uma dose (base seca) de 240 kg ha^{-1}, que corresponde a 0,12 g kg^{-1}, atingiu um valor de pH de 6,65, porém não se manteve, vinte e cinco semanas após a aplicação do lodo, onde os valores de pH foram semelhantes ao controle. Isto indica que o uso do lodo de laticínio sem calcário não eleva nem mantém o pH à valores exigidos para um bom desenvolvimento de plantas. Em contrapartida, Justina et al. (2018), verificou um aumento do pH, que afetou tanto o Al^{3+} trocável quanto a acidez potencial, ambos atributos químicos foram diminuídos pela aplicação de lodo de laticínio tratado com cal.

Boechat et al. (2014) trabalhando com diferentes fontes de resíduos orgânicos, incluindo resíduos tratados com CaO, perceberam aumento e diminuição do pH relacionado ao tipo de resíduo orgânico e sua fonte. Portanto, é necessário conhecer o tratamento pelo qual o material passa, e realizar testes para analisar o efeito das doses de cada material no pH do solo.

Sendo assim, a correção da acidez de resíduos orgânicos com uso de cal ou calcário antes da sua aplicação em solos agrícolas é uma prática utilizada por diversos autores e poderia ser empregada no resíduo em estudo afim de proporcionar maior

potencial para utilização agrícola, pois o mesmo estaria disponibilizando nutrientes, como nitrogênio, sem afetar negativamente o pH do solo.

6.4. Conclusão

Pode-se concluir que o lodo da indústria de laticínio tem efeito sob a acidez do solo, porém não possui potencial de correção da acidez do solo para elevar e manter o pH a um valor ideal, entre 6 e 7, para o desenvolvimento das plantas, necessitando de aplicação calcário.

7. ESTUDO 2 - Alterações químicas e biológicas do solo e desenvolvimento do milho decorrentes da adição de lodo da indústria de laticínios

Resumo - A aplicação de lodos agroindustriais em solos pode reduzir significativamente os custos de disposição dos resíduos gerados no tratamento de efluentes, além de fornecer grande parte dos requisitos nutricionais para culturas de interesse agronômico, podendo assim, servir como fertilizante alternativo. Contudo, esta prática pode provocar alterações químicas e biológicas no solo. Portanto, o objetivo desse estudo foi determinar os efeitos da aplicação de lodo de laticínio em diferentes doses, nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e no desenvolvimento de plantas de milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão - RS. Foi disposto em um delineamento completamente casualizado com 4 repetições. As unidades experimentais foram vasos de polietileno com capacidade para 10 kg de solo, classificado como Planossolo Háplico. A quantidade de lodo incorporada na dose recomendada de N foi de 3,3 g kg^{-1}, obtida após análise do teor do nutriente no material. A partir dessa dose estabeleceu-se os percentuais: 50, 100, 150, 200 e 250% da dose recomendada, que resultaram nas seguintes doses de lodo: 1,65; 3,3; 4,95; 6,60 e 8,25 g kg de $solo^{-1}$. O período de cultivo foi de 63 dias. Após a colheita, realizou-se análise de macronutrientes do tecido vegetal, massa seca de plantas e análises químicas e microbiológicas do solo. O lodo de laticínio proporcionou aumento do carbono orgânico do solo, aumentou os teores de fósforo e potássio no solo e em condições de incubação disponibilizou maiores teores de nitrogênio mineral. Além de possibilitar o desenvolvimento e incremento de matéria seca das plantas de milho, estimulou a atividade dos microrganismos do solo.

7.1. Introdução

A maioria dos processos de tratamento de efluentes produz um lodo que deve ser destinado de maneira adequada. A aplicação de lodo bruto ou tratado em solos, pode reduzir significativamente o componente de custo de disposição no tratamento de efluentes, além de fornecer grande parte dos requisitos de nitrogênio e fósforo para muitas culturas (PESCOD, 1992).

No mercado brasileiro há um déficit estrutural na demanda por macronutrientes e o país carece de insumos importados para atender as necessidades do crescimento das atividades agrícolas. Entretanto, a abundante produção de resíduos por alguns setores do agronegócio possibilita que os nutrientes presentes nesses materiais possam ser reaproveitados, reduzindo, assim, a destinação ambientalmente incorreta e contribuindo para uma economia circular (CRUZ et al., 2017).

Atualmente, a aplicação em solo é o método mais sustentável para a disposição final de lodos de tratamentos domésticos e industriais. Devido ao seu conteúdo de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes para as plantas e o baixo custo de aplicação, tornou-se um método econômico, eficiente e cada vez mais popular. O uso de lodos na agricultura é um método amplamente utilizado em muitos países europeus como Portugal, Reino Unido, Islândia, Espanha (KELESSIDIS; STASINAKIS, 2012), nos Estados Unidos (CNP, 2002) e na China (LIU et al., 2017). Para tanto, é importante garantir que a aplicação do lodo não afete adversamente o solo, as águas subterrâneas ou as culturas (POURCHER et al., 2007).

A avaliação de parâmetros biológicos, de resposta rápida sobre a qualidade do solo, como a atividade microbiana do solo, tem sido utilizada para assegurar a qualidade do resíduo e a adequação do seu uso na agricultura (BOHM et al., 2014; ARMENTA et al., 2012; HERNÁNDEZ-ALLICA, 2006). Estudos que avaliem os efeitos da aplicação de lodos sob as características químicas e biológicas do solo, podem auxiliar o produtor na escolha de técnicas de aplicação e no monitoramento da qualidade do solo, promovendo uma menor degradação do solo, aumento da matéria orgânica, consequentemente maior quantidade de nutrientes e melhores condições do solo para plantio, trazendo uma melhor resposta de produtividade às culturas (PEREIRA et al., 2015).

Com isso, o objetivo desse estudo foi determinar os efeitos da aplicação de lodo de laticínio em diferentes doses, nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e no desenvolvimento de plantas de milho.

7.2. Material e métodos

O solo utilizado neste estudo, classificado como Planossolo Háplico, foi coletado na camada de 0-20 cm e apresentou: pH_{H2O} 4,0; Matéria Orgânica 2,62%;

Argila 21%; S 38,2 mg dm^{-3}; P (Mehlich) 11,5 mg dm^{-3}; K 21 mg dm^{-3}; Al 3,7 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al 17,3 cmolc dm^{-3}; $CTC_{efetiva}$ 5,5 $cmol_c$ dm^{-3} e Índice SMP 4,8.

O lodo biológico da indústria de laticínios apresentou as seguintes características: Poder de Neutralização 16,4%; pH_{H2O} 3,9; C orgânico 380 g kg^{-1}; N 66,3 g kg^{-1}; P 34 g kg^{-1}; K 2,2 g kg^{-1}; Ca 35,9 g kg^{-1} e Mg 2,9 g kg^{-1}.

Como unidade experimental utilizou-se vasos plásticos com capacidade para 10 kg de solo. Após a coleta, destorroamento e peneiragem do solo (4 mm) foram aplicados os seguintes tratamentos: 1- testemunha (solo); 2- NPK+calcário; 3- lodo da indústria de laticínios (dose 1)+calcário+complementação de P e K; 4- lodo da indústria de laticínios (dose 2) +calcário+complementação de P e K; 5- lodo da indústria de laticínios (dose 3)+calcário+complementação de P e K; 6- lodo da indústria de laticínios (dose 4)+calcário+complementação de K e 7- lodo da indústria de laticínios (dose 5)+calcário+complementação de K.

A dose recomendada de lodo da indústria de laticínios foi definida pela necessidade de N, segundo a CQFS RS/SC (2016), para a cultura do milho: 60 kg ha^{-1}. Foi considerado um índice de eficiência de 50% das doses de lodo para um primeiro cultivo e levando em consideração a condição de cultivo em vasos, todos os tratamentos tiveram as doses dobradas. Portanto as doses de lodo de esgoto foram multiplicadas por quatro e as doses de fertilizantes minerais foram multiplicadas por dois.

A quantidade de lodo incorporada para a dose 2 (recomendada) foi de 3,3 g kg^{-1}, obtida após análise do teor de N deste material. A partir dessa dose estabeleceu-se diferentes percentuais que determinaram as demais doses (1, 3, 4 e 5), equivalentes a 50, 150, 200 e 250% da dose 2, que corresponderam a 1,65; 4,95; 6,60 e 8,25 g kg^{-1}, respectivamente. A necessidade de P e K nos tratamentos foi complementada com fonte mineral.

As doses de NPK e calcário também foram determinadas de acordo com a análise do solo, segundo a recomendação para a cultura do milho e elevando-se o pH a 6,0 (CQFS RS/SC, 2016), sendo, portanto recomendado: 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, 140 de kg ha^{-1} de fósforo e 140 de kg ha^{-1} de potássio. Foram utilizadas como fonte mineral de NPK: uréia (45% de N), superfosfato simples (SFS) (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (KCl) (58% de K_2O), aplicados no momento da implantação do experimento, duas vezes a dose recomendada. O calcário com PRNT 75% foi aplicado em forma de $CaCO_3$ + $MgCO_3$ (2:1) juntamente com os demais insumos e o

resíduo. Desta forma, foram definidos e aplicados os tratamentos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Tratamentos e suas respectivas quantidades de insumos e resíduo aplicados (g vaso^{-1}).

Tratamento	Lodo	Calcário	Uréia	SFS	KCl
	g vaso^{-1}				
1	0	0	0	0	0
2	0	79,0	2,67	14,0	2,41
3	16,5	79,0	0	10,5	2,37
4	33,0	79,0	0	7,0	2,33
5	49,5	79,0	0	3,5	2,29
6	66,0	79,0	0	0	2,25
7	82,5	79,0	0	0	2,20

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão - RS. Foi disposto em um delineamento experimental completamente casualizado, composto por 7 tratamentos com 4 repetições, num total de 28 unidades experimentais.

O solo foi previamente misturado com o lodo (massa úmida) e demais insumos no dia 05 de dezembro de 2017, e então foram acondicionados nos vasos buscando-se um bom assentamento das partículas, imitando-se a densidade natural a campo.

Os vasos foram semeados com milho (*Zea mays*) híbrido P3431VYH da Pioneer, no dia 23 de janeiro de 2018. Após 13 dias, no dia 05 de fevereiro de 2018, realizou-se o desbaste, onde foram mantidas quatro plantas por vaso. A irrigação foi realizada sempre que necessário, mantendo condições de umidade adequadas para o desenvolvimento da cultura.

7.2.1. Crescimento e análise de plantas

A coleta das plantas foi realizada no dia 26 de março de 2018, 63 dias após a semeadura, entre os estádios V6 e V10 de desenvolvimento vegetativo, com 7 folhas ou mais, antes do pendoamento (CIAMPITTI et al., 2016). A parte aérea das plantas foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados e levados em estufa a 65°C até manterem peso constante, para a determinação da fitomassa seca. A

análise dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal foi realizada segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) e a partir dos valores obtidos calculou-se a absorção destes nutrientes pelas plantas.

7.2.2. Análise química e parâmetros microbiológicos do solo

Após 5 dias da coleta das plantas de milho o solo de cada vaso foi destorroado e homogeneizado em uma bandeja, e então foram coletadas duas amostras do solo em cada unidade experimental, uma para análise química e outra para análise microbiológica. Exceto para a análise de respiração basal, que foi realizada com solo inicial dos tratamentos, antes da semeadura do milho.

As amostras de solo foram secas e peneiradas (2 mm) e procedeu-se a análise do C orgânico pelo método de combustão de Walkey-Black; pH, N total, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), onde utilizou-se o método Kjeldahl (oxidação úmida) para avaliação do N total, o método do extrator duplo-ácido (Mehlich-1) para avaliar os teores de P e K "disponíveis", já os teores "trocáveis" de Ca e Mg são determinados após a extração com KCl.

Também foram determinados os teores de N total e N mineral (NO_3^- e NH_4^+) do solo, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), após incubação do solo de 62 dias, realizada no processo da análise microbiológica que quantifica a respiração basal.

As amostras para análise de parâmetros microbiológicos foram mantidas em geladeira com temperatura aproximada de 4°C e foram analisadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Pelotas, onde foram determinados os seguintes parâmetros:

7.2.2.1. Carbono da biomassa microbiana do solo

Foram analisados os teores de C da biomassa microbiana pelo método de Irradiação-Extração, conforme sugerido por Ferreira (1998). Para eliminação dos microrganismos foi utilizado o forno micro-ondas, em substituição ao clorofórmio. Amostras equivalentes a 32 g de solo seco foram retiradas de cada tratamento, em duplicata, foram acondicionadas em frascos "snap-cap" de 90 mL, as amostras sem

tratamento de irradiação receberam 40 mL de solução K_2SO_4 0,5 mol L^{-1}. O outro grupo, destinado a irradiação da microbiota passou pela esterilização por quatro minutos em forno micro-ondas e então as amostras receberam o mesmo volume e solução de K_2SO_4. Todas amostras foram agitadas por 30 minutos, em agitador horizontal com 150 oscilações por minuto. Procedeu-se centrifugação por 3 minutos, e o sobrenadante foi pipetado para outro frasco. Da solução pipetada foi retirada uma alíquota de 25 mL para a determinação do carbono orgânico conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os valores de carbono microbiano foram calculados de acordo com a Equação 1.

$$CM = \frac{Ci - Cni}{Kc} \qquad (1)$$

Onde:

CM: teor de carbono da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1});

C_i : teor de carbono da amostra irradiada (mg kg^{-1});

C_{ni}: teor de carbono da amostra não irradiada (mg kg^{-1});

K_c: 0,33 fator de correção proposto por Sparling & West (1988).

7.2.2.2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Para determinação dos teores de N da biomassa microbiana também foi utilizado o método de Irradiação-Extração, conforme sugerido por Ferreira (1998). Amostras equivalentes a 20 g de solo seco foram retiradas de cada tratamento, em duplicata e foram acondicionadas em frascos “snap-cap” de 90 mL. As amostras destinadas a irradiação da microbiota passaram pela esterilização por quatro minutos em forno micro-ondas. Todas as amostras (irradiadas e não irradiadas) receberam 50 mL de solução K_2SO_4 0,5 mol L^{-1}. O nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) foi determinado de acordo com Brookes et al. (1985). Foi utilizado uma alíquota de 20 mL do extrato para a determinação do N total dos extratos irradiados e não-irradiados, determinado pelo método Kjeldahl, da seguinte forma: a alíquota foi transferida para um tubo de digestão na presença de 3 mL de H_2SO_4 concentrado e de 1 g de mistura catalítica (K_2SO_4:$CuSO_4$:Se em pó, na relação 1:0,1:0,01). Em seguida, os tubos foram acondicionados em bloco digestor. Realizou-se uma pré-digestão a 80°C por uma noite, em seguida, a temperatura foi mantida a 150°C durante uma hora e meia,

sendo a digestão concluída a 300°C, durante três horas. Em seguida, realizou-se a destilação do N com adição de 20 mL de NaOH 400 g L^{-1}, recolhendo-se o destilado em erlenmeyer de 50 mL contendo 10 mL de H_3BO_3 (20 g L^{-1}), na presença de um indicador composto por verde de bromocresol e vermelho de metila, procedendo-se então a titulação com H_2SO_4 0,0025 mol L^{-1}. O Nmic foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\mathrm{NM} = (\mathrm{Ni} - \mathrm{Nni})\mathrm{x}\ \mathrm{Kn} \qquad (2)$$

Onde:

NM: teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1});

N_i: teor de nitrogênio da amostra irradiada (mg kg^{-1});

N_{ni}: teor de nitrogênio da amostra não irradiada (mg kg^{-1});

K_n: 0,54 fator de correção proposto por Brookes et al. (1985).

7.2.2.3. Respiração basal do solo

A respiração basal do solo foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) liberado no processo de respiração microbiana durante um período de incubação de 62 dias.

Os tratamentos, representados por amostras de 100 g de solo (base seca) foram acondicionados em frascos de vidro com capacidade de 0,8 L, hermeticamente fechados. Cada frasco recebeu um tripé para sustentar um copo de polietileno de 50 mL contendo 20 mL de NaOH 1 M. O CO_2 liberado pela atividade microbiana foi captado pela solução de NaOH e medido através da titulação com solução de HCl 1 M após a adição de 5 mL de $BaCl_2$ (25%) e 3 gotas de fenolftaleína (1%), conforme o método de Stotzky (1965). Os frascos foram dispostos sobre bancada no laboratório em um delineamento completamente casualizado. Foi utilizado um tratamento que compreende a prova em branco, ou seja, um frasco com ausência de solo e contendo apenas o copo com 20 mL de NaOH 1 mol L^{-1}. Os resultados foram calculados pela Equação 3:

$$\text{mg C-}CO_2\ 100\ g^{-1}\ \text{solo} = (\mathrm{VPB} - \mathrm{VA})\ \mathrm{x}\ \mathrm{M}\ \text{ácido x Eq. C-}CO_2\ \mathrm{x}\ \mathrm{FC} \qquad (3)$$

Sendo:

VPB: volume de HCl gasto na prova em branco (mL);

VA: volume de HCl gasto na titulação do NaOH que recebeu o CO_2 desprendido do solos (mL);

$M_{ácido}$: concentração de HCl 1M;

Eq. C-CO_2: equivalente grama do C-CO_2 = 6 g;

FC: fator de correção (concentração do ácido/concentração da base) = 1,0.

7.2.2.4. Carbono biodegradado

A partir dos dados obtidos na respiração basal, conforme o método de Stotzky (1965), os valores de mg C-CO_2 100g^{-1} solo foram utilizados para obtenção dos valores de Carbono biodegradado, e aplicados na Equação 4:

$$\text{C biodegradado} = \text{mg C-}CO_2\ 100\ g^{-1}\ \text{solo} \times 1{,}5 \qquad (4)$$

7.2.2.5. Taxa de biodegradação do Carbono

Os valores obtidos a partir da Equação 4, foram utilizados para calcular a Taxa de biodegradação do Carbono, segundo a Equação 5:

$$\%\text{Biodegradação do Carbono} = \frac{(\text{Cbiodegradado trat.} - \text{Cbiodegrado test.}) \times 100}{\text{C adicionado}} \qquad (5)$$

7.2.2.6. Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (Anderson & Domsch, 1978), conforme descrito na Equação 6.

$$\mathrm{qCO2} = \frac{\mu gCO2.h^{-1}.g^{-1}de\ solo}{\mu g\ Cmic.g^{-1}de\ solo} \qquad (6)$$

7.2.2.7. Relação entre C da biomassa microbiana e C total (C_{mic}/C_{total})

A relação C_{mic}/C_{total} foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono total do solo, descrito na Equação 7.

$$\text{CM/COT}\ (\%) = \frac{mg\text{CmicKg}^{-1}desolo}{\text{mg Ctotal Kg}^{-1}\,desolo} x100 \qquad (7)$$

7.2.2.8. Relação entre N da biomassa microbiana e N total (N_{mic}/N_{total})

A relação N_{mic}/N_{total} foi obtida pela razão entre o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo, segundo a Equação 8.

$$\text{NM/NT}\ (\%) = \frac{mg\text{NmicKg}^{-1}desolo}{\text{mg Ntotal Kg}^{-1}\,desolo} x100 \qquad (8)$$

7.2.2.7. Relação entre C e N da biomassa microbiana (C_{mic}/N_{mic})

A relação C_{mic}/N_{mic} foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o nitrogênio da biomassa microbiana. Conforme a Equação 9.

$$\text{CM/NM}\ (\%) = \frac{mgC\text{micKg}^{-1}desolo}{\text{mg Nmic Kg}^{-1}\,desolo} x100 \qquad (9)$$

7.2.3. Análise estatística

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância através do teste F ($p \leq 0,05$). Constatando-se significância estatística, os efeitos das doses foram comparados pelos modelos de regressão: $y = y_0 + ax$, $y = y_0 + ax + bx^2$ e $y = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$, a seleção do modelo foi baseada no baixo p-valor e alto R^2. O tratamento NPK não foi considerado na análise de regressão, foi usado apenas como comparativo. Foram utilizados os programas WinStat versão 1.0 e SigmaPlot versão 11.0.

7.3. Resultados e discussão

Os parâmetros químicos foram estudados por regressão polinomial. Os valores de pH aumentaram significativamente nos tratamentos que receberam calcário quando comparados ao tratamento com dose zero (Figura 2A). Os valores de pH

atingidos nos tratamentos que receberam calagem e lodo indicaram um aumento adicional do pH do solo, como na dose de 8,25 g kg^{-1} de lodo, em que o valor encontrado foi de 6,8 após o cultivo. Segatto (2001) observou um acréscimo de pH em tratamentos com a utilização de resíduos orgânicos em relação ao tratamento NPK, onde todos receberam calagem.

O pH influencia diretamente o desenvolvimento das plantas principalmente em relação a disponibilidade de nutrientes no solo. Os dados obtidos por Boechat et al. (2017) mostraram um forte impacto de resíduos, como lodo de laticínio, sobre o pH de um solo ácido, onde doses mais altas de resíduos promoveram um aumento significativo do pH do solo. Em uma dose de 300 kg ha^{-1} o lodo de laticínio tratado com quantidades significativas de CaO - fornecendo uma maior capacidade de aumento do pH do solo - elevou o pH do solo de 5,2 para 7,7.

Os valores de carbono orgânico (Figura 2B), apresentaram um decréscimo a partir da dose de 3,3 g kg^{-1} de lodo de laticínio. Esse comportamento pode ser resultado de uma maior decomposição dos resíduos nas doses mais elevadas de lodo de laticínio, ocorrendo perda de carbono orgânico e maior mineralização. Segundo Lima et al. (1994), a adição de resíduos orgânicos promove aumento na mineralização da matéria orgânica e na capacidade de troca de cátions. Em campo, Gonçalves (2019) observou uma maior degradação da matéria orgânica após aplicação de lodo de esgoto em solo argiloso que tinha elevado teor de carbono orgânico. Justina et al. (2018) observou acréscimo no teor de matéria orgânica com a aplicação de 80 t ha^{-1} de lodo de laticínio, dosagens menores não apresentaram diferença e nem aumento significativo.

Não ocorreu ajuste para os dados de nitrogênio total no solo (Figura 2C), contudo, os valores médios obtidos para as doses de lodo aplicadas não foram inferiores ao tratamento NPK, sendo este muito próximo ao valor médio encontrado para o tratamento testemunha. Konrad e Castilhos (2002) observaram um comportamento semelhante nos tratamentos que receberam lodo de caleiro com cromo (resíduo de curtume) que apresentaram os maiores teores de N, superando o tratamento e NPK + calcário. Isso demonstra a capacidade destes resíduos em incorporarem N ao solo. Os resultados obtidos por Liu et al. (2017) indicaram que a aplicação de lodo de esgoto pode aumentar ou manter a fertilidade do solo, com o aumento do teor de matéria orgânica do solo e dos teores de N e P, sendo maiores em relação ao uso de fertilizante de fonte mineral.

Os teores de fósforo e potássio (Figura 2D e 2E) tiveram um aumento na sua disponibilidade ao solo com a aplicação do lodo, porém os valores não foram superiores aos observados com o tratamento NPK. Diferentemente, outro resíduo como o lodo da parboilização de arroz, o qual contém alta concentração de P e K, como constatado por Vieira et al. (2011), seu uso em diversas doses superou o tratamento NPK no que se refere a disponibilidade destes dois elementos no solo.

Os valores de cálcio e magnésio no solo (Figura 2F e 2G) dos tratamentos que receberam lodo de laticínio e do tratamento NPK foram muito próximos, evidenciando que, o incremento desses nutrientes foi decorrente da aplicação de calcário e a adição de lodo não contribuiu significativamente para o aumento dos teores desses elementos no solo. Konrad e Castilhos (2002) observaram o mesmo comportamento para lodo de curtume, em que os teores de Ca e Mg dos tratamentos com lodo sem adição de calcário, não diferiram da testemunha. Diversos tratamentos são utilizados em lodos e resíduos industriais, muitas vezes no processo de secagem onde é utilizado o calcário ou cal, que poderá implicar no aumento da concentração de Ca e Mg no resíduo, e também no potencial de neutralização da acidez do solo que poderá levar a um aumento na CTC do solo.

Em estudo realizado por Justina et al. (2018) os maiores efeitos observados no lodo de laticínio seco pelo calor se devem a adição de cal durante o processo de secagem, o que aumentou a disponibilidade de Ca e Mg e ainda apresentou maior potencial de neutralização da acidez do solo devido à formação de hidróxido de Ca e Mg quando em contato com a umidade do solo. A formação de hidróxidos permite a neutralização de Al^{3+} - através da precipitação em $Al(OH)_3$ – e dos íons H^+, que permanecem adsorvidos nas partículas do solo. Uma vez neutralizados esses íons, as cargas negativas do solo ficam disponíveis para adsorção de cátions básicos disponibilizados pelo resíduo adicionado. Cabe salientar que o lodo de laticínio utilizado no presente estudo não recebeu nenhum tipo de tratamento para higienizar ou facilitar a desidratação, além disso a dose de calcário aplicada foi equivalente para todos os tratamentos testados, exceto no tratamento testemunha que não recebeu insumos.

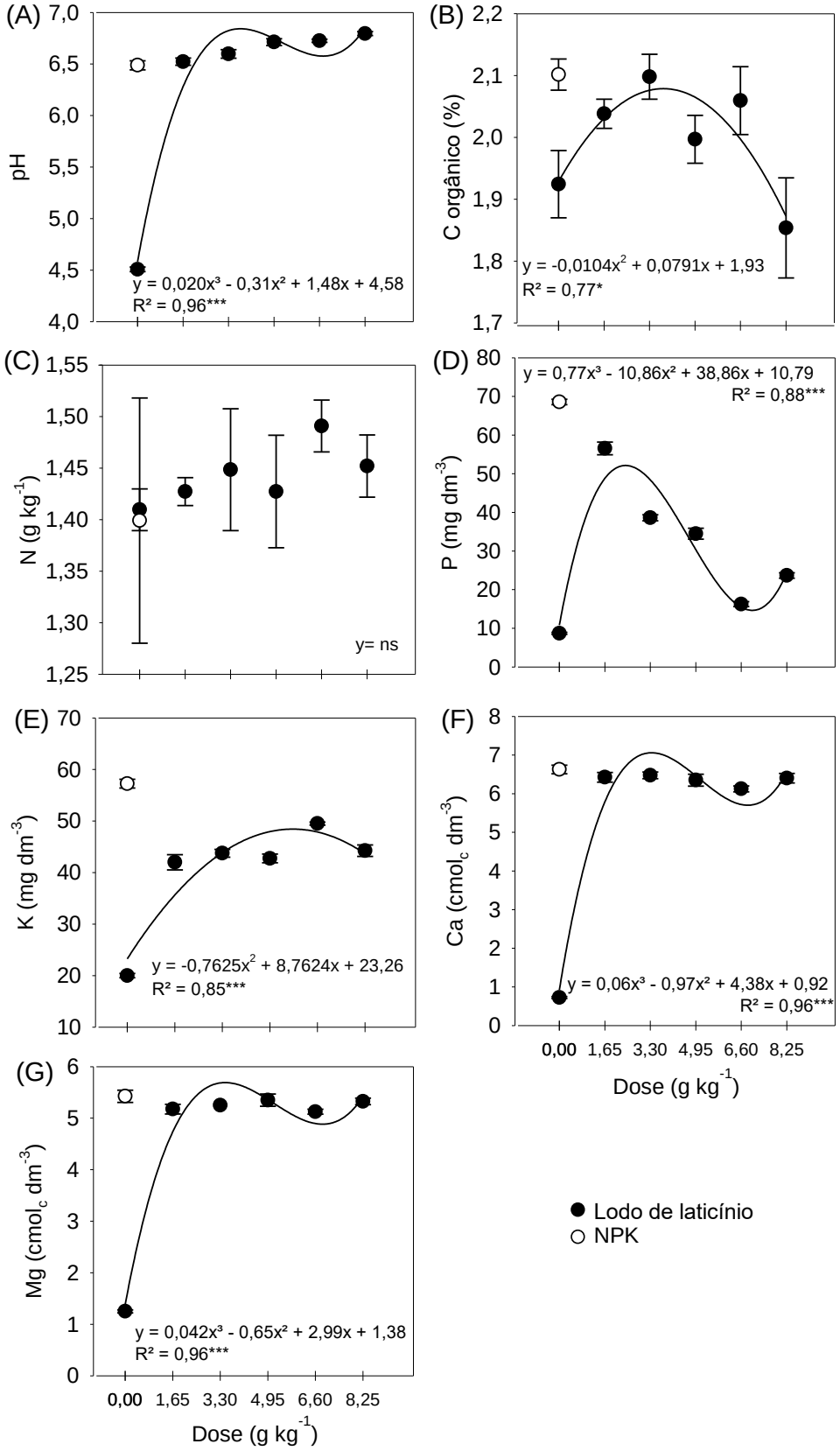

Figura 2 - Análise química do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho, (A) pH, (B) C orgânico, (C) nitrogênio, (D) fósforo, (E) potássio, (F) cálcio e (G) magnésio. *, ***, significativo à p<0,05 e p<0,0001, respectivamente. ns, não significativo (p>0,05). Barras indicam erro padrão da média.

Os valores obtidos para C e N microbiano (Figura 3A e 3B) variaram bastante entre os tratamentos e pode-se observar que alguns tratamentos que receberam lodo de laticínio superaram os valores encontrados nos tratamentos testemunha e NPK, sendo a dose de 1,65 g kg^{-1} de lodo para C mic e a dose de 4,95 g kg^{-1} de lodo para N mic. Segundo Almeida et al. (2009) a maior concentração de carbono microbiano no solo se dá devido a decomposição gradual de materiais orgânicos pelos microrganismos do solo, que por sua vez mineralizam e utilizam parte do carbono como fonte de energia e nutriente, transformando-o em tecido microbiano. A relação entre os parâmetros de C e N microbianos pode ser usada como índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C ou N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

Para a relação entre carbono e nitrogênio microbiano (Cmic/Nmic) (Figura 3C) notou-se valores superiores nas doses de 1,65 e 3,3 g kg^{-1} de lodo. Já, os dados obtidos para relação carbono orgânico e nitrogênio total (COT/NT) não tiveram diferença significativa e o maior valor encontrado para esta relação foi encontrado no tratamento NPK (Figura 3D), com o aumento das doses de lodo os valores de COT/NT tiveram diminuição, possivelmente em decorrência do incremento nos teores de N total.

A relação entre carbono microbiano e carbono orgânico total (Cmic/COT) apresentou o maior valor com a dose de 3,3 g kg^{-1} de lodo (Figura 3E) havendo uma diminuição com o aumento da dose. Esta dose destacou-se em relação a todos os outros tratamentos, as demais doses de lodo de laticínio apresentaram valores médios inferiores ao tratamento NPK. Porém, para os dados de Nmic/NT (Figura 3F) não houve diferença estatística. Segundo Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), as relações Cmic/COT e Nmic/NT expressam índices da qualidade nutricional da matéria orgânica e em solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, a biomassa microbiana pode encontrar-se sob algum fator de estresse, tornando-se incapaz de utilizar totalmente o carbono e o nitrogênio orgânicos, e nesse caso, as relações Cmic/COT e Nmic/NT diminuem. Vieira et al. (2011) encontrou valores de 1,5% e 3,5% para as relações Cmic/COT e Nmic/NT ao usar lodo da parboilização do arroz. Jenkinson & Ladd (1981) consideram normais os valores médios de 2,4 a 3,0% para Cmic/Corg e Smith & Paul (1990) consideram normal 1,6 a 2,2% para Nmic/Ntotal.

A dose de 3,3 g kg^{-1} de lodo de laticínio foi a que proporcionou as condições mais propícias para atividade microbiana (Figura 3E), além de indicar uma possível

situação de estresse provocada pelo aumento dessa dose. A sobrecarga de material orgânico pode ser um fator que tenha contribuído nesse resultado. Em doses mais elevadas de lodo a suplementação mineral foi menor, logo a disponibilidade imediata de nutrientes - na forma mineral - foi reduzida, dificultando a manutenção das relações internas desses organismos, afetando a atividade.

A diferença observada entre as quantidades de C-CO_2 liberadas pelos tratamentos com lodo e do tratamento testemunha (Figura 3G), indicam a contribuição deste resíduo na atividade microbiana edáfica. A quantidade acumulada de C-CO_2 evoluído durante o período de incubação, representa a atividade dos microrganismos do solo, que ocorre em maior intensidade nos primeiros dias após a adição de materiais orgânicos (METZGER & YARON, 1987; MALIK et al., 2008). A atividade microbiana aumentou com o acréscimo das doses de lodo de laticínio. Entretanto, os valores obtidos nos tratamentos com o lodo foram inferiores ao C-CO_2 verificado no tratamento NPK. Isto, provavelmente, deve-se a maior quantidade de nutrientes prontamente disponíveis na forma mineral, utilizados como fonte energética para multiplicação e manutenção das atividades dos microrganismos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), e também devido a uma possível competição entre os microrganismos do solo e os que foram aportados através da aplicação do lodo de laticínio, influenciando na diversidade e atividade da microbiota.

Liu et al. (2017) destaca os efeitos positivos - principalmente em relação ao aporte de matéria orgânica e nutrientes presentes nesses resíduos - na promoção da atividade microbiana do solo. Através de dados de sequenciamento eles puderam observar que a riqueza e diversidade microbiana mudaram do solo que recebeu lodo em comparação com o controle - que recebeu fertilizantes. Com isso, as mudanças na composição, diversidade e atividade da comunidade microbiana do solo podem resultar dos efeitos combinados da qualidade do solo, do conteúdo de nutrientes de substâncias que se acumularam no solo.

Os valores de quociente metabólico (qCO_2) tiveram uma variação expressiva em relação as doses lodo de laticínio (Figura 3H). O carbono orgânico e o quociente metabólico microbiano constituem bons indicadores de manejos do solo, pois inferem sobre ao ganho de carbono e a eficiência de utilização e conservação do mesmo no solo. O qCO_2 indica a atividade e a estabilidade dos microrganismos no solo (ALMEIDA et al., 2009). Vieira et al. (2011) explicam que menores valores de qCO_2 indicam menores perdas de carbono como CO_2 pela respiração e uma maior porção

de carbono incorporada aos tecidos microbianos, como resultado da ação de uma biomassa eficiente. Contudo, segundo Santos et al. (2004) a maior liberação de CO_2 por unidade de Cmic pode ser estimulada pela presença de um substrato facilmente assimilável para o desenvolvimento e atividade microbiana, com menor resistência ao ataque dos microrganismos.

Portanto, com o aumento das doses de lodo de laticínio (que possui uma relação C/N de 6:1) houve uma intensificação na atividade microbiana do solo com menor aproveitamento de carbono pelos microrganismos e maior emissão de carbono na forma de CO_2. Andrade et al. (2014) observaram resposta semelhante, com o aumento de doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial obtiveram redução no carbono da biomassa microbiana e aumento do qCO_2, isso pode estar relacionado ao aporte de nutrientes, inclusive o sódio, pela adição do lodo no solo. O sódio pode causar efeitos negativos por pressão osmótica ou em função de desordem nutricional (RAIJ, 1991; SPOSITO, 2008).

O aporte de carbono ao solo, avaliado através da quantificação de C biodegradado (Figura 3I), embora tenha correlação positiva com a quantidade absoluta de CO_2 emanado, pode ter correlação inversa com a taxa de degradação (SANTOS et al., 2002). Este comportamento pode ser observado no presente trabalho (Figura 3J). Uma possível explicação para esse fato está relacionada com o aumento do conteúdo orgânico através da adição de resíduos, suplantando a capacidade microbiana de degradação (WONG et al., 1998) e ainda, o aumento da dose pode gerar taxas respiratórias elevadas, capazes de reduzir a concentração de oxigênio prejudicando a atividade dos microrganismos aeróbios (KHALIL et al., 2002). Já, a intensa mineralização nos tratamentos que receberam lodo de laticínio pode ser atribuída principalmente à baixa relação C:N e à composição mais lábil da fração orgânica do lodo.

Andrade et al. (2006) encontraram um valor médio de 21,63% para a taxa de degradação de biossólidos, após 70 dias de incubação. Eles ainda ressaltam que essa taxa pode variar de 20% a 60% do total de carbono adicionado via biossólido em até 130 dias. Alguns valores encontrados no presente trabalho foram superiores a essa faixa, variaram de 23,25 na dose de 8,25 g kg^{-1} a 93,63 % na dose de 1,65 g kg^{-1}.

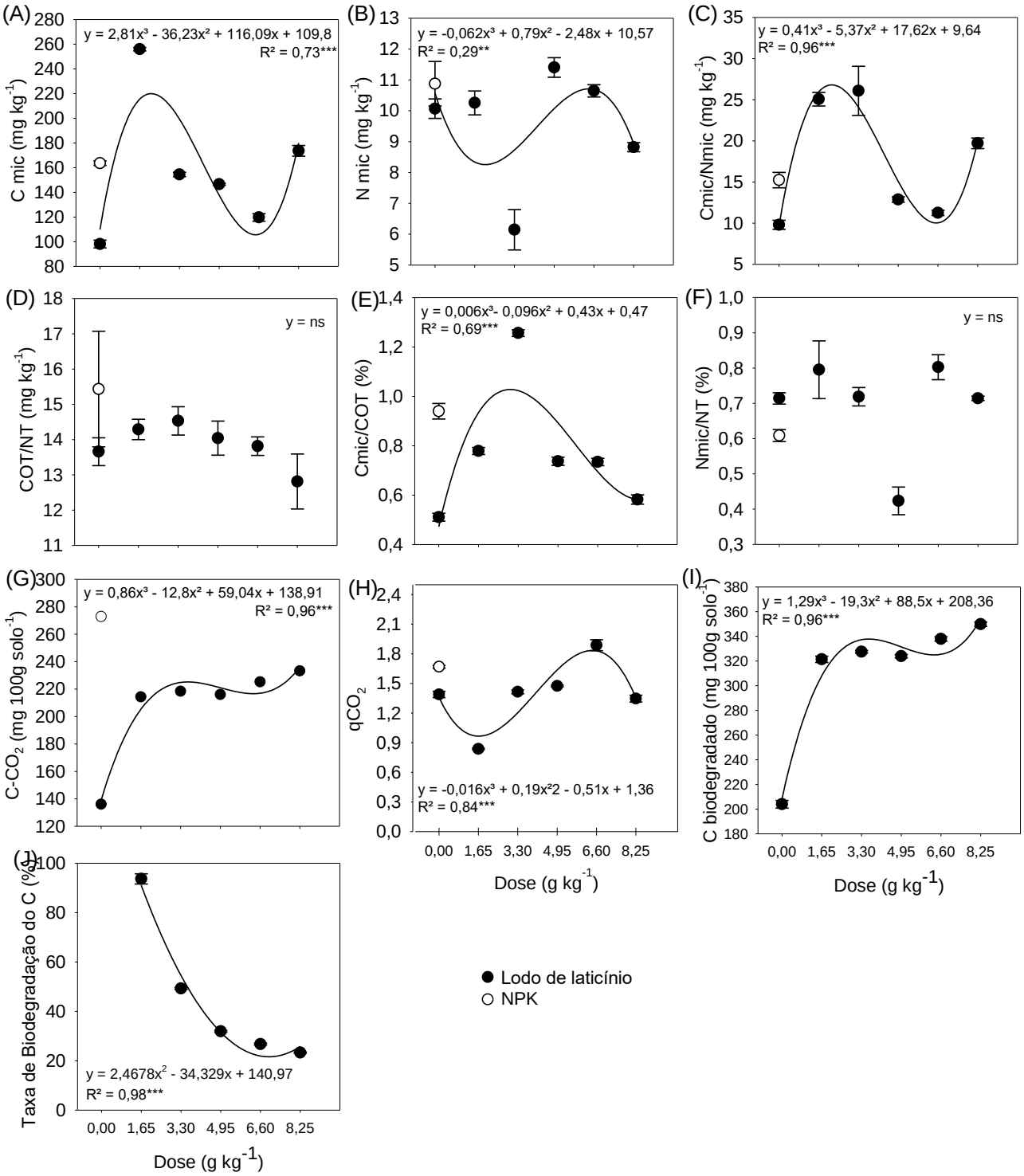

Figura 3 - Análise microbiológica do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, (A) Cmicrobiano, (B) Nmicrobino, (C) Cmic/Nmic, (D) COT/NT, (E) Cmic/COT, (F) Nmic/NT, (G) C-CO_2, (H) qCO_2, (I) C biodegradado e (J) Taxa de biodegradação.
*, **, ***, significativo à p<0,05, p<0,001 e p<0,0001, respectivamente, respectivamente. ns, não significativo (p>0,05) ou sem ajuste. Barras indicam erro padrão da média.

As diferenças nos teores de N total (Figura 4A) entre os tratamentos não foram significativas, apesar de ser observado incremento nessa variável até a maior dose de lodo de laticínio. Já, para os teores de N mineral (NH_4^+ + NO_3^-) houve um ajuste linear (Figura 4B), com tendência de acréscimo com o aumento das doses de lodo. Porém, o tratamento NPK apresentou-se superior aos demais tratamentos.

Entre as doses de lodo aplicadas, a que apresentou teor mais elevado de nitrogênio mineral foi a maior dose, de 8,25 g kg^{-1}. As doses de 1,65; 3,3; 4,95; 6,6 e 8,25 g kg^{-1}, incorporaram ao solo, respectivamente, 109, 219, 328, 438 e 547 mg de N orgânico. Levando em consideração a contribuição da matéria orgânica presente no solo (dose zero) no fornecimento de nitrogênio mineralizado, com a adição de lodo nas doses acima citadas, foi mineralizado, respectivamente, uma taxa adicional de 18,82; 17,46; 15,69; 12,16 e 11,38%. Com o aumento da dose do material orgânico há uma redução da taxa de mineralização. Segundo Garau et al. (1986), a fração de mineralização de N orgânico de lodo varia conforme o tipo de solo e a origem do material.

A alta mineralização observada no tratamento NPK pode estar relacionada à natureza da fonte de N aplicada nesse tratamento. A ureia, usada no tratamento NPK, é rapidamente transformada para a forma amoniacal por meio da urease, enquanto no caso do lodo, material orgânico, o processo de mineralização ocorre mais lentamente, à medida que o material vai se degradando. Observou-se que a mineralização do lodo foi rápida, quando comparada a mineralização encontrada por Vieira et al (2011), levando em consideração o curto tempo de incubação (62 dias). Castilhos et al. (2002) observaram que 45% do N orgânico incorporado por meio de lodo de curtume, com relação C/N 7:1, foi mineralizado após 366 dias de incubação.

Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos de milho varia de 20 a 28 kg ha^{-1} (SCHRÖDER et al., 2000). Considerando uma estimativa de produção de 6 t ha^{-1} de milho, essa necessidade ficaria entre 120 e 168 kg ha^{-1} de N. Nas condições impostas pela incubação, as doses a partir de 3,3 g kg^{-1} de lodo apresentaram uma mineralização que atende a exigência de N pela cultura.

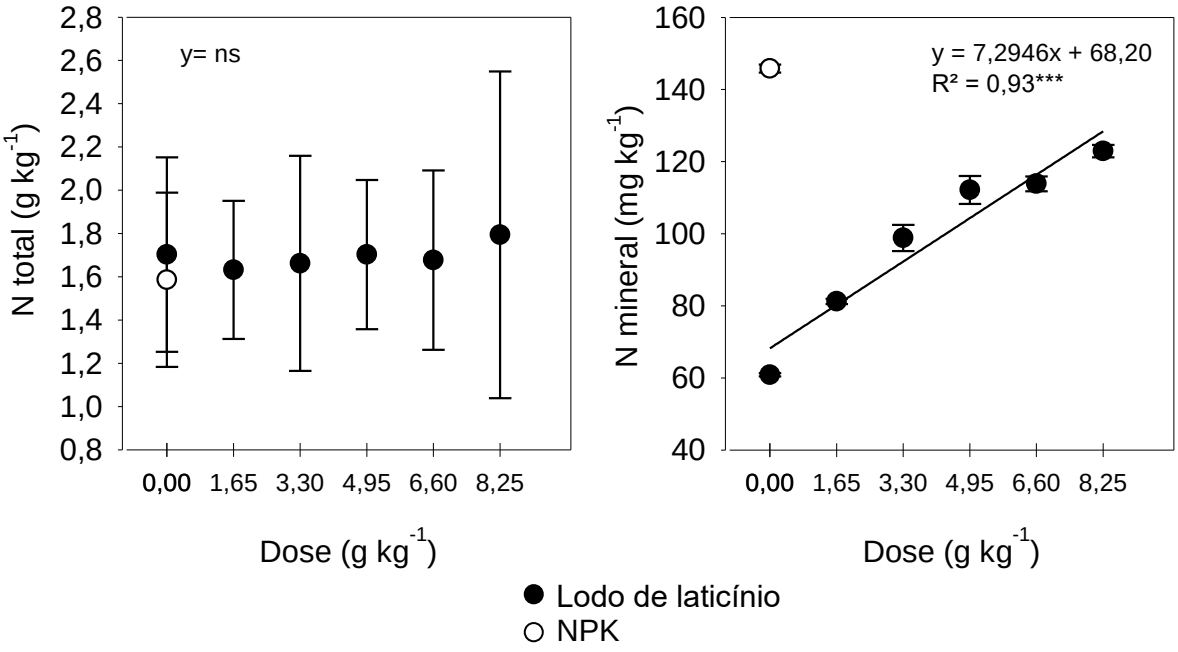

Figura 4 - (A) Teores de N total e (B) N mineral (NO_3^-, NH_4^+) do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio aos 62 dias de incubação.
*** significativo à p<0,0001. ns, não significativo (p>0,05). Barras indicam erro padrão da média.

Os valores de produção de massa seca da parte aérea das plantas de milho (Figura 5A) demonstraram efeito sob a aplicação de lodo de laticínio. Com a aplicação de 1,65 g kg^{-1} de lodo de laticínio, observou-se uma produção de massa seca 2,89 vezes superior à encontrada para as plantas do tratamento testemunha, que foi de 27,32 g para 79,01 g por vaso. Porém, as demais doses não apresentaram incremento em relação a esta dose, que foi a menor aplicada. A produção de massa seca obtida no tratamento NPK, de 93,3 g $vaso^{-1}$, foi superior aos demais tratamentos.

Vieira et al. (2011) observaram que doses acima de 4,31 g kg^{-1} de lodo da parboilização do arroz não promove incrementos sobre a produtividade de matéria seca de plantas de milho, a exemplo do que foi verificado no presente estudo. Kabirinejad e Hoodaji (2012) ao aplicar lodo de esgoto na dose de 50 t ha^{-1} verificaram aumento significativo da matéria seca da parte aérea de plantas de milho, de 7,7 (do controle) para 28,7 g por vaso. Para Boechat et al. (2017) o aumento de doses de lodos de 100 para 200 kg ha^{-1} proporcionou incrementos na massa seca na parte aérea de plantas de milho. Eles ainda evidenciam que a partir dos resultados obtidos os lodos industriais, como o de laticínios, demonstram potencial para serem usados como fontes alternativas aos fertilizantes minerais comerciais, uma vez que a massa seca da parte aérea expressa sucesso no desenvolvimento das culturas e tendência a obter um bom rendimento de grãos.

A análise das quantidades de macronutrientes absorvidos pelas plantas de milho, revelou que os teores de nitrogênio (Figura 5B) apresentaram efeito sob aplicação de lodo de laticínio e a partir da dose de 3,3 g kg^{-1} as demais doses não apresentaram incremento na absorção deste nutriente pelas plantas. A absorção de N na parte aérea das plantas no tratamento NPK foi superior aos demais tratamentos. Para Kabirinejad e Hoodaji (2012) os maiores teores de N e P foram na aplicação de maior dose de lodo de esgoto (50 t ha^{-1}), aumentaram de 32 e 69 mg kg^{-1} no controle para 74 e 102,6 mg kg^{-1}. A mesma resposta foi encontrada por Vieira et al. (2011) onde os teores de N nas plantas de milho somente foram alterados com a maior dose do lodo da parboilização do arroz, de 17,24 g kg^{-1}, cujos valores foram superiores aos demais tratamentos, inclusive o mineral.

Para se tornarem disponíveis às plantas, os teores de nitrogênio no solo dependem da mineralização da matéria orgânica. Considerando que o N apresenta uma dinâmica de transformações, podem ocorrer reações como a imobilização, que levam à baixa eficiência de utilização do N (COELHO et al., 1991). Contudo, segundo Hue (1995), biossólidos com baixas relações C/N quando incorporados ao solo, não promovem a imobilização de N pelos microrganismos.

Os teores de fósforo absorvidos pelas plantas de milho (Figura 5C) apresentaram diferenças significativas com a aplicação de lodo de laticínio, apesar do tratamento NPK apresentar a maior absorção desse nutriente em relação aos demais tratamentos. Diferente dos resultados obtidos por Vieira et al. (2011), onde os teores de P na parte aérea de plantas de milho foram maiores a partir da aplicação de doses superiores a 4,31 g kg^{-1} de lodo da parboilização do arroz, neste estudo observou-se que o aumento da dose de 3,3 g kg^{-1} proporcionou diminuição dos valores de P absorvidos pelas plantas.

Deve-se destacar que o aporte de P ao solo através do lodo de laticínio não supria a necessidade das plantas, com isso realizou-se as complementações com adubação mineral, tanto para fósforo como para potássio, quando necessário. Os teores de P e K disponibilizados através da adubação mineral podem ter sido imobilizados pelos microrganismos afim de manter as atividades de mineralização, principalmente nos tratamentos que receberam doses maiores de lodo.

Em relação a absorção de potássio (Figura 5D), as doses de lodo aplicadas proporcionaram maior concentração de K nas plantas de milho, ficando muito próximas ao tratamento NPK e muito superiores a testemunha. Da mesma maneira

que o fósforo, houve uma tendência de diminuição da absorção de K pela parte aérea das plantas de milho a partir da dose de 3,3 g kg^{-1} de lodo, que é justificado pela baixa complementação deste nutriente através da adubação mineral com o aumento das doses de lodo, portanto a disponibilização dos teores de K exigidos pela cultura na forma mineral dependia da mineralização.

Houve efeito da aplicação de lodo de laticínio sobre os teores de Ca absorvidos pelas plantas (Figura 5E) mas foram valores próximos ao tratamento NPK e todos foram superiores ao tratamento testemunha. Esses resultados estão atrelados principalmente a aplicação de calcário nesses tratamentos, sendo que os menores valores de absorção encontrados para esses nutrientes são no tratamento testemunha, que não recebeu calagem. Já, os teores de Mg absorvidos pelas plantas de milho não apresentaram diferença significativa (Figura 5F). Vieira et al. (2011) observaram uma diminuição nos teores absorvidos de Ca e Mg absorvidos por plantas de milho com o aumento de doses de lodo da parboilização do arroz.

A partir desses resultados fica claro a importância da caracterização dos resíduos, levando em conta as concentrações de elementos como Ca, Mg e K. Pois segundo Malavolta et al. (1997) pode ocorrer competição entre os cátions pelas cargas negativas da célula. O K, que é absorvido rapidamente pela célula, compete fortemente na absorção de outros cátions, principalmente o Ca e o Mg. No presente estudo não há evidências de que pode ter havido tal competição, pois os teores de K no resíduo não são elevadas (2,2 g kg^{-1}) e a complementação mineral se deu a fim de atender as exigências nutricionais da planta, sem excessos que poderiam vir a prejudicar a absorção dos demais nutrientes pela planta.

Cabe salientar que a disponibilidade de nutrientes através das atividades de mineralização e a absorção pelas plantas nos tratamentos com lodo de laticínio não atingiu os resultados proporcionados pelo tratamento NPK. Neste caso, a associação do resíduo com adubação mineral pode ser considerada a fim de atingir melhores resultados.

A adubação representa uma fração considerável dos custos de produção na lavoura e o tipo e a quantidade influenciam na produtividade e nas propriedades do solo, refletindo a longo prazo na fertilidade do mesmo (SAHA et al., 2008). A associação entre adubos orgânicos e minerais é recomendada a fim de obter um equilíbrio que condicione melhores produtividades e mantenham adequadas as características relacionadas a fertilidade do solo (FERNANDES et al., 2013). O

desequilíbrio entre nutrientes nas plantas pode promover variações no metabolismo vegetal influenciando no sistema de defesa da planta e em características fisiológicas, atingindo diretamente a produtividade da cultura (SILVA et al., 2019).

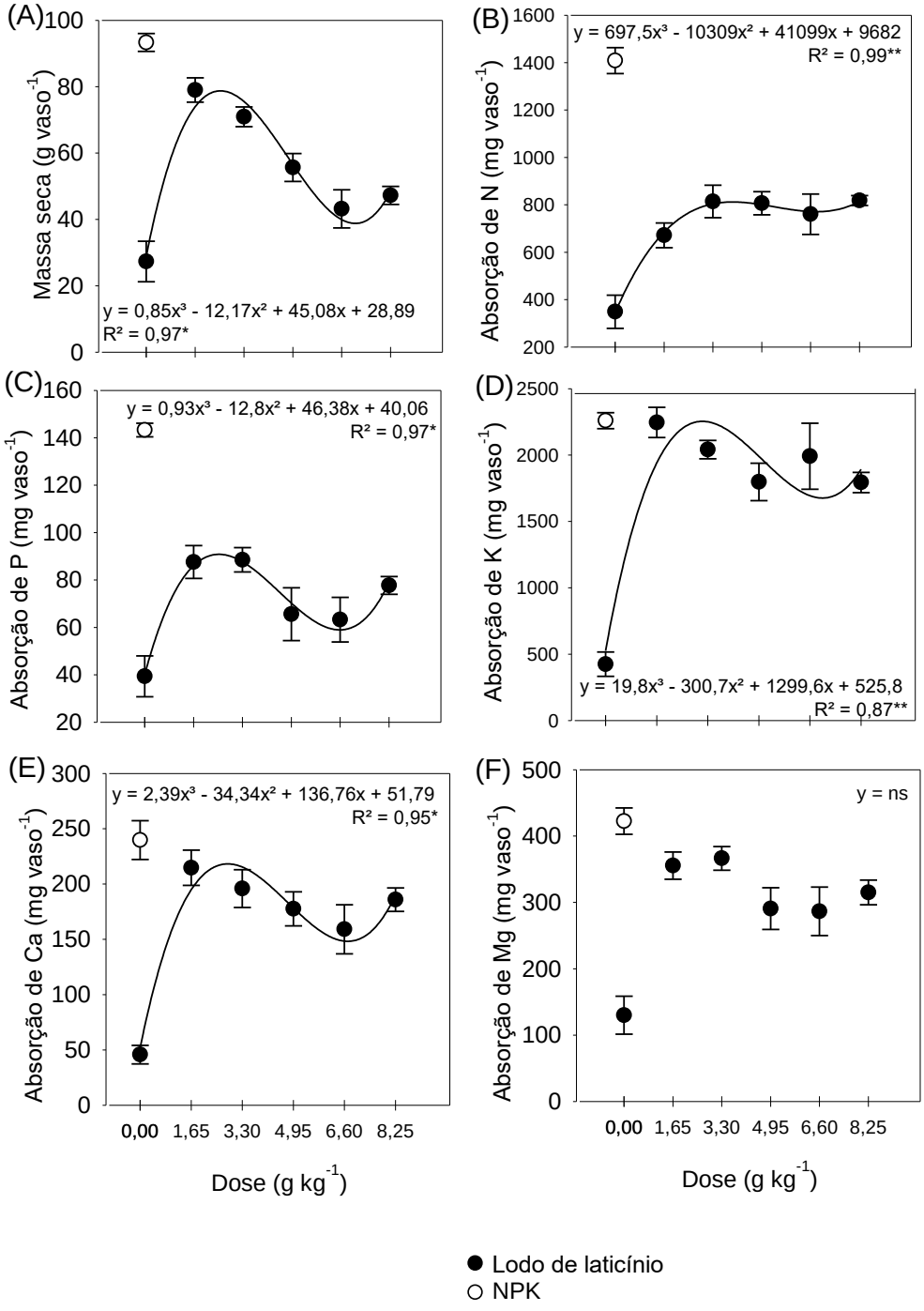

Figura 5 - Análise química da parte aérea de plantas de milho submetidas a doses crescentes de lodo de laticínio. (A) Massa seca, Absorção de (B) nitrogênio, (C) fósforo, (D) potássio, (E) cálcio e (F) magnésio.
*, ** significativo à p<0,05 e p<0,001, respectivamente. ns, não significativo (p>0,05) ou sem ajuste. Barras indicam erro padrão da média.

Segundo Kabirinejad e Hoodaji (2012), com base em dados internacionais, diversos tipos de biossólidos, como lodos e compostos orgânicos de lodos, contém altas concentrações de macronutrientes que se acumulam no solo após aplicações a longo prazo, proporcionando absorção desses nutrientes nos tecidos das culturas, aumentando o rendimento das plantas. Para Justina et al. (2018) a aplicação de lodo de laticínio (tratado com cal) para fins agrícolas é uma boa opção devido aos potenciais determinados por esses autores como neutralização da acidez do solo, aumento da saturação de bases, adição de matéria orgânica ao solo, e principalmente a não liberação de poluentes em altos níveis para o meio ambiente. Algumas características potenciais puderam ser verificadas no presente estudo, principalmente o aumento do teor de matéria seca em plantas de milho, aporte de matéria orgânica e nutrientes ao solo, além de favorecer a absorção de nutrientes pelas plantas.

Justina et al. (2018) ainda destacam a importância de estudos que avaliem a viabilidade da aplicação de tais resíduos no solo sob o ponto de vista microbiológico e a influência desses resíduos no crescimento das culturas. A partir dos resultados já observados pode-se afirmar que o lodo de laticínio favoreceu e estimulou a atividade microbiana em relação ao tratamento testemunha.

Desse modo, combinando os resultados obtidos com os relatados em trabalhos anteriores, entende-se a necessidade de estudos que avaliem em diversos aspectos as alterações provocadas pela aplicação de resíduos em solos agrícolas. Observa-se o potencial de diversos resíduos agroindustriais no fornecimento de nutrientes e melhorias das propriedades químicas e biológicas do solo. A tendência mundial pela destinação correta dos resíduos gerados pelas diversas atividades industriais confirma a relevância de estudos como este apresentado.

7.4. Conclusão

O lodo de laticínio provocou alterações nas características químicas e microbiológicas do solo. Proporcionou aumento do carbono orgânico do solo, aumentou os teores de fósforo e potássio no solo e em condições de incubação disponibilizou maiores teores de nitrogênio mineral.

Além de possibilitar o desenvolvimento e incremento de matéria seca das plantas de milho, o uso de lodo de laticínio favoreceu e estimulou a atividade dos microrganismos do solo.

8. ESTUDO 3 - Avaliação do efeito residual da aplicação do lodo da indústria de laticínios sobre o crescimento da aveia preta e parâmetros químicos e microbiológicos do solo

Resumo - A aplicação de resíduos como lodos no solo representa uma maneira econômica e benéfica de destinação, e ainda melhora as propriedades do solo como a retenção de água, conteúdo de matéria orgânica e nutrientes. Além do efeito imediato de sua aplicação, os lodos podem mostrar efeito residual em cultivos sucessivos e assim reduzir os custos na produção agrícola. O objetivo desse estudo foi determinar o efeito residual da aplicação de lodo de laticínio em diferentes doses, nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e no desenvolvimento da aveia preta. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão - RS. Foi disposto em um delineamento completamente casualizado, com 4 repetições. As unidades experimentais foram vasos de polietileno com capacidade de 10 kg de solo, onde foi disposto solo classificado como Planossolo Háplico. A semeadura da aveia preta se deu após o cultivo de milho em solo já adubado, que havia recebido as seguintes doses de lodo: 1,65; 3,3; 4,95; 6,60 e 8,25 g kg^{-1}. O período de cultivo foi de 100 dias. Após a colheita, realizou-se análise de macronutrientes do tecido vegetal, massa seca de plantas, químicas e microbiológicas do solo. A aplicação de lodo de laticínio em solo previamente ao cultivo do milho apresentou efeito residual, favoreceu a disponibilidade de nutrientes ao solo e estimulou a atividade dos microrganismos em um segundo cultivo com aveia preta. A dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo de laticínio proporcionou desempenho agronômico e acúmulo de massa seca equivalente ao tratamento NPK, ainda favoreceu a absorção de nitrogênio e potássio pelas plantas de aveia preta.

8.1. Introdução

A aplicação de resíduos como lodos no solo, em sua maioria, representa a maneira mais econômica e benéfica para a sua destinação. Estes insumos alternativos, de fontes orgânicas desempenham um papel central na produtividade de muitos sistemas agrícolas, fornecendo nutrientes através da decomposição e substrato para a síntese da matéria orgânica do solo (REZIG et al., 2012).

Diversos autores confirmam que a aplicação de lodos provenientes do tratamento de efluentes domésticos e industriais melhoram as propriedades do solo, como capacidade de retenção de água, conteúdo de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, entre outros nutrientes (NAVARRO-PEDREÑO et al., 2003; ALMENDRO-CANDEL et al., 2014; JUSTINA et al., 2018). Identificar a taxa máxima de aplicação desses resíduos é muito importante, pois superá-la pode piorar as condições do solo e com isso causar impactos ambientais. Por esse motivo, o nitrogênio é um dos compostos agronômicos mais relevantes para determinar a taxa de aplicação do lodo de esgoto principalmente devido às necessidades das plantas. Para tanto, é importante garantir que a aplicação do lodo não afete adversamente o solo, as águas subterrâneas e as culturas (POURCHER et al., 2007).

Além do efeito imediato de sua aplicação, os lodos podem mostrar efeito residual em cultivos sucessivos e reduzir os custos de produção para os agricultores. Lemainski & Silva (2006) observaram que a adubação com 30 t ha^{-1} de lodo de esgoto causou um efeito residual significativo no cultivo do milho, com rendimento correspondente a 77% ao obtido no primeiro ciclo, se apresentando 22% mais eficiente que o fertilizante mineral. Albuquerque et al. (2015) ao aplicarem doses de lodo de esgoto de até 30 t ha^{-1} verificaram um aumento no crescimento e na produtividade de girassol no segundo ciclo.

A partir do exposto, o objetivo desse estudo foi determinar o efeito residual da aplicação de doses de lodo de laticínio, nos atributos químicos e microbiológicos do solo, e no crescimento da aveia preta.

8.2. Material e métodos

O solo utilizado neste estudo, classificado como Planossolo Háplico, foi coletado na camada de 0-20 cm e apresentou: pH água 4,0; Matéria Orgânica 2,62%; Argila 21%; S 38,2 mg dm^{-3}; P (Mehlich) 11,5 mg dm^{-3}; K 21 mg dm^{-3}; Al 3,7 $cmol_c$ dm^{-3}; H+Al 17,3 cmolc dm^{-3}; $CTC_{efetiva}$ 5,5 $cmol_c$ dm^{-3} e Índice SMP 4,8.

O lodo biológico da indústria de laticínios apresentou as seguintes características: Poder de Neutralização 16,4%; pH_{H2O} 3,9; C orgânico 380 g kg^{-1}; N 66,3 g kg^{-1}; P 34 g kg^{-1}; K 2,2 g kg^{-1}; Ca 35,9 g kg^{-1} e Mg 2,9 g kg^{-1}.

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no campus Capão do Leão, da Universidade Federal de Pelotas, no Capão do Leão, RS, Brasil. Como unidade

experimental utilizou-se vasos plásticos com capacidade para 10 kg de solo, foram dispostos em um delineamento completamente casualizado com 4 repetições, num total de 28 unidades experimentais.

Após a coleta das plantas de milho realizou-se a retirada das raízes maiores, destorroamento e homogeneização do solo de cada unidade experimental. A semeadura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), cultivar Comum, se deu no dia 15 de maio de 2018. Após 30 dias, realizou-se o desbaste mantendo-se doze plantas por vaso. A irrigação foi realizada sempre que necessário, mantendo condições de umidade adequadas para o desenvolvimento da cultura.

A semeadura da aveia preta foi realizada em Planossolo Háplico em sequência ao cultivo de milho feito no período de verão sob as seguintes condições de fertilidade, interpretadas segundo CQFS RS/SC (2016): teor “médio” de matéria orgânica, entre 2,6 e 5%, para todos os tratamentos; o teor de fósforo, considerando a classe de argila 3, foi “baixo” para o tratamento dose zero (6,1 a 12 mg dm^{-3}), “médio” (12,1 a 18 mg dm^{-3}) para a dose de 6,6 g kg^{-1} de lodo de laticínio, “alto” (18,1 a 36 mg dm^{-3}) para as doses de 4,95 e 8,25 g kg^{-1} de lodo de laticínio e “muito alto” (>36 mg dm^{-3}) para os tratamentos NPK, 1,65 e 3,3 g kg^{-1} de lodo de laticínio. Para o K, considerando $CTC_{pH7,0}$ média (7,5 a 15 $cmol_c$ dm^{-3}), o tratamento testemunha apresentou teor “muito baixo” de K (<30 mg dm^{-3}), e os demais tratamentos apresentaram teor baixo para este mesmo elemento (31 a 60 mg dm^{-3}).

A recomendação de adubação segundo CQFS RS/SC (2016) para aveia preta antecedida por gramínea, para rendimento de até 3 t ha^{-1}, seria de 60 kg ha^{-1} de N para todos os tratamentos; menos de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 para os tratamentos NPK, 1,65 e 3,3 g kg^{-1} de lodo; 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 para as doses de 4,95; 6,6 e 8,25 g kg^{-1} de lodo e 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 para o tratamento testemunha. Para suprir a necessidade de K a recomendação para o tratamento testemunha seria de 70 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de K_2O para os demais tratamentos. Contudo, não foi realizada adubação mineral nem reaplicação de lodo de laticínio com a finalidade de verificar o possível efeito residual dos tratamentos no solo.

A dose recomendada de lodo da indústria de laticínios foi definida pela necessidade de N e aplicada no cultivo do milho, segundo a CQFS RS/SC (2016), para a produção de até 6 t ha^{-1} de milho. A quantidade de lodo, massa úmida, incorporada nesta dose foi de 3,3 g kg^{-1}, obtida após análise do teor de N do material, sendo considerado um índice de eficiência de 50% para um primeiro cultivo. A partir

dessa dose estabeleceu-se diferentes percentuais que determinaram as demais doses, equivalentes a 50, 150, 200 e 250% da dose recomendada, que corresponderam a 1,65; 4,95; 6,60 e 8,25 g kg^{-1}, respectivamente. A necessidade de P e K nos tratamentos foi complementada com fonte mineral, no primeiro cultivo.

As doses de NPK e calcário também foram determinadas de acordo com a análise do solo, segundo a recomendação para a cultura do milho e elevando-se o pH a 6,0, sendo, portanto recomendado: 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, 140 de kg ha^{-1} de fósforo e 140 de kg ha^{-1} de potássio. Foram utilizadas como fonte mineral de NPK uréia (45% de N), superfosfato simples (SFS) (20% de P_2O_5) e cloreto de potássio (KCl) (58% de K_2O), aplicados no momento da implantação do experimento, duas vezes a dose recomendada. O calcário com PRNT 75% foi aplicado em forma de $CaCO_3$ + $MgCO_3$ (2:1) juntamente com os demais insumos e resíduo.

8.2.1. Crescimento e análise de plantas

A coleta das plantas foi realizada no dia 22 de agosto de 2018, 100 dias após a semeadura, em estádio de desenvolvimento vegetativo antes do espigamento. A parte aérea das plantas foi acondicionada em sacos de papel devidamente identificados e levados para estufa a 65°C até manterem peso constante, para a determinação da fitomassa seca. A análise dos teores de N, P, K, Ca e Mg no tecido vegetal foi realizada segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) e a partir dos valores obtidos calculou-se a absorção destes nutrientes pelas plantas

O cálculo da máxima eficiência técnica foi realizado de acordo com metodologia descrita por Storck et al. (2000), por meio da Equação 10:

$$X = \frac{-b_1}{2b_2} \qquad (10)$$

Onde:

X = ponto da máxima eficiência técnica;

b_1 e b_2 = coeficientes da equação $y = b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2$

8.2.2. Análise química e parâmetros microbiológicos do solo

Após 5 dias da coleta das plantas de aveia o solo de cada vaso foi destorroado e homogeneizado em uma bandeja, e então foram coletadas duas amostras do solo em cada unidade experimental, uma para análise química e outra para análise microbiológica, inclusive para respiração basal, que foi determinada após a coleta das plantas de aveia preta.

As amostras de solo foram secas e peneiradas (2 mm) e procedeu-se a análise do C orgânico pelo método de combustão de Walkey-Black; pH, N total, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), onde utilizou-se o método Kjeldahl (oxidação úmida) para avaliação do N total, o método do extrator duplo-ácido (Mehlich-1) para avaliar os teores de P e K “disponíveis”, já os teores “trocáveis” de Ca e Mg são determinados após a extração com KCl.

As amostras retiradas para análise microbiológica foram mantidas em geladeira com temperatura aproximada de 4°C e foram analisadas no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Pelotas, onde foram determinados os seguintes parâmetros:

8.2.2.1. Carbono da biomassa microbiana do solo

Foram analisados os teores de C da biomassa microbiana pelo método de Irradiação-Extração, conforme sugerido por Ferreira (1998). Para eliminação dos microrganismos foi utilizado o forno micro-ondas, em substituição ao clorofórmio. Amostras equivalentes a 32 g de solo seco foram retiradas de cada tratamento, em duplicata, foram acondicionadas em frascos “snap-cap” de 90 mL, as amostras sem tratamento de irradiação receberam 40 mL de solução K_2SO_4 0,5 mol L^{-1}. O outro grupo, destinado a irradiação da microbiota passou pela esterilização por quatro minutos em forno micro-ondas e então as amostras receberam o mesmo volume e solução de K_2SO_4. Todas amostras foram agitadas por 30 minutos, em agitador horizontal com 150 oscilações por minuto. Procedeu-se centrifugação por 3 minutos, e o sobrenadante foi pipetado para outro frasco. Da solução pipetada foi retirada uma alíquota de 25 mL para a determinação do carbono orgânico conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os valores de carbono microbiano foram calculados de acordo com a Equação 11.

$$CM = \frac{Ci - Cni}{Kc} \qquad (11)$$

Onde:

CM: teor de carbono da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1});

C_i : teor de carbono da amostra irradiada (mg kg^{-1});

C_{ni}: teor de carbono da amostra não irradiada (mg kg^{-1});

K_c: 0,33 fator de correção proposto por Sparling & West (1988).

8.2.2.2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

Para determinação dos teores de N da biomassa microbiana também foi utilizado o método de Irradiação-Extração, conforme sugerido por Ferreira (1998). Amostras equivalentes a 20 g de solo seco foram retiradas de cada tratamento, em duplicata, e foram acondicionadas em frascos “snap-cap” de 90 mL, as amostras após irradiação e as que não foram irradiadas, receberam 50 mL de solução K_2SO_4 0,5 mol L^{-1}. O nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) foi determinado de acordo com Brookes et al. (1985). Foi utilizado uma alíquota de 20 mL do extrato para a determinação do N total dos extratos irradiado e não-irradiado, determinado pelo método Kjeldahl, da seguinte forma: a alíquota foi transferida para um tubo de digestão na presença de 3 mL de H_2SO_4 concentrado e de 1 g de mistura catalítica (K_2SO_4: $CuSO_4$: Se em pó, na relação 1: 0,1: 0,01). Em seguida, os tubos foram acondicionados em bloco digestor. Realizou-se uma pré-digestão a 80°C por uma noite, em seguida, a temperatura foi mantida a 150°C durante uma hora e meia, sendo a digestão concluída a 300°C, durante três horas. Em seguida, realizou-se a destilação do N com adição de 20 mL de NaOH 400 g L^{-1}, recolhendo-se o destilado em erlenmeyer de 50 mL contendo 10 mL de H_3BO_3 (20 g L^{-1}), na presença de um indicador composto por verde de bromocresol e vermelho de metila, procedendo-se então a titulação com H_2SO_4 0,0025 mol L^{-1}. O Nmic foi calculado de acordo com a Equação 12.

$$NM = (Ni - Nni)x\,Kn \qquad (12)$$

Onde:

NM: teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1});

N_i: teor de nitrogênio da amostra irradiada (mg kg^{-1});

N_{ni}: teor de nitrogênio da amostra não irradiada (mg kg^{-1});

K_n: 0,54 fator de correção proposto por Brookes et al. (1985).

8.2.2.3. Respiração basal do solo

A respiração basal do solo foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) liberado no processo de respiração microbiana durante um período de incubação de 63 dias.

Os tratamentos, representados por amostras de 100 g de solo (base seca) foram acondicionados em frascos de vidro com capacidade de 0,8 L, hermeticamente fechados. Cada frasco recebeu um tripé para sustentar um copo de polietileno de 50 mL contendo 20 mL de NaOH 1 M. O CO_2 liberado pela atividade microbiana foi captado pela solução de NaOH e medido através da titulação com solução de HCl 1 M após a adição de 5 mL de $BaCl_2$ (25 %) e 3 gotas de fenolftaleína (1%). Os frascos foram dispostos sobre bancada do laboratório em um delineamento completamente casualizado. Foi utilizado um tratamento que compreende a prova em branco, ou seja, um frasco com ausência de solo e contendo apenas o copo com 20 mL de NaOH 1 mol L^{-1}. Os resultados foram calculados pela Equação 13:

$$\text{mg C-CO}_2\ 100\ g^{-1}\ \text{solo} = (VPB - VA) \times M\ \text{ácido} \times \text{Eq. C-CO}_2 \times FC \qquad (13)$$

Sendo:

VPB: volume de HCl gasto na prova em branco (mL);

VA: volume de HCl gasto na titulação do NaOH que recebeu o CO_2 desprendido do solos (mL);

$M_{ácido}$: concentração de HCl 1M;

Eq. C-CO_2: equivalente grama do C-CO_2 = 6 g;

FC: fator de correção (concentração do ácido/concentração da base) = 1,0.

8.2.2.4. Carbono biodegradado

A partir dos dados obtidos na respiração basal, conforme o método de Stotzky (1965), os valores de mg C-CO_2 100g^{-1} solo foram utilizados para obtenção dos valores de Carbono biodegradado, e aplicados na Equação 14:

$$\text{C biodegradado} = \text{mg C-}CO_2\ 100\ g^{-1}\ \text{solo} \times 1{,}5 \qquad (14)$$

8.2.2.5. Taxa de biodegradação do Carbono

Os valores obtidos a partir da Equação 14, foram utilizados para calcular a Taxa de biodegradação do Carbono, segundo a Equação 15:

$$\%\text{Biodegradação do Carbono} = \frac{(\text{Cbiodegradado trat.} - \text{Cbiodegrado test.}) \times 100}{\text{C adicionado}} \qquad (15)$$

8.2.2.6. Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1978), conforme descrito na Equação 16.

$$\text{qCO2} = \frac{\mu gCO2.h^{-1}.g^{-1} de\ solo}{\mu g\ Cmic.g^{-1} de\ solo} \qquad (16)$$

8.2.2.7. Relação entre C da biomassa microbiana e C total (C_{mic}/C_{total})

A relação C_{mic}/C_{total} foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono total do solo, descrito na Equação 17.

$$\text{CM/COT (\%)} = \frac{mg\text{CmicKg}^{-1} desolo}{\text{mg Ctotal Kg}^{-1} desolo} x100 \qquad (17)$$

8.2.2.8. Relação entre N da biomassa microbiana e N total (N_{mic}/N_{total})

A relação N_{mic}/N_{total} foi obtida pela razão entre o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo, segundo a Equação 18.

$$\text{NM/NT}\ (\%) = \frac{mg\text{Nmic}\text{Kg}^{-1}desolo}{\text{mg Ntotal Kg}^{-1}desolo} x100 \qquad (18)$$

8.2.2.9. Relação entre C e N da biomassa microbiana (C_{mic}/N_{mic})

A relação C_{mic}/N_{mic} foi obtida pela razão entre o carbono da biomassa microbiana e o nitrogênio da biomassa microbiana. Conforme a Equação 19.

$$\text{CM/NM}\ (\%) = \frac{mgC\text{mic}\text{Kg}^{-1}desolo}{\text{mg Nmic Kg}^{-1}desolo} x100 \qquad (19)$$

8.2.3. Análise Estatística

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância através do teste F ($p \leq 0,05$). Constatando-se significância estatística, os efeitos das doses foram comparados pelos modelos de regressão: $y = y_0 + ax + bx^2$ e $y = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$, a seleção do modelo foi baseada no baixo p-valor e alto R^2. O tratamento NPK não entrou na análise de regressão, foi usado apenas como comparativo. Foram utilizados os programas WinStat versão 1.0 e SigmaPlot versão 11.0.

8.3. Resultados e discussão

Os valores de pH mantiveram-se adequados após o segundo cultivo (Figura 6A) em todos os tratamentos que receberam calcário. No tratamento testemunha ocorreu acidificação, o pH após o cultivo do milho era de 4,51 e após o cultivo da aveia preta foi para 4,25, os demais tratamentos também apresentaram leve acidificação, porém não saíram da faixa adequada (5,5 a 6,5) para desenvolvimento de culturas agrícolas.

Os teores de C orgânico em todos os tratamentos foram inferiores aos encontrados logo após o cultivo do milho (Figura 6B). Nos tratamentos que receberam lodo de laticínio o teor de C orgânico médio era de 2,01% após o cultivo de milho e foi

para 1,49% após o cultivo com aveia preta, uma redução de 25,84%, demostrando que durante o segundo cultivo ocorreu atividade microbiana de mineralização. No tratamento NPK a redução foi de 25,62% do teor de C orgânico do solo após os dois cultivos analisados. O teor de C orgânico no tratamento testemunha foi de 1,92% após o cultivo do milho para 1,70% após o cultivo da aveia, uma redução menos perceptível em relação aos demais tratamentos, que pode ser justificada pela menor atividade da microbiota, devido ao menor aporte de nutrientes e condições de pH neste tratamento.

A diminuição do C orgânico, principalmente nos tratamentos que receberam lodo, é um resultado esperado visto que, segundo Lima et al. (1994) a adição de resíduos orgânicos proporciona maior disponibilidade de matéria orgânica ao solo, promovendo aumento na mineralização da matéria orgânica. Com condições adequadas para manutenção das atividades microbianas, os tratamentos disponibilizaram nutrientes e material para a mineralização e como não houve reposição de matéria orgânica pela adição de resíduos obteve-se as reduções nos teores de C orgânico.

Os teores de N do solo (Figura 6C) não apresentaram diferença significativa, mas foram superiores aos encontrados após o cultivo do milho. Para os tratamentos que receberam doses de lodo de laticínio os valores encontrados foram superiores a testemunha e ao tratamento NPK. Tal resultado indica a contribuição dos microrganismos na mineralização e disponibilização deste nutriente, corroborando com os dados de C orgânico do solo encontrados após o segundo cultivo e evidenciando o efeito residual potencial do resíduo no solo. A mineralização do N no solo é facilitada quando os resíduos aplicados são de baixa relação C/N e eficientes na disponibilidade de energia, sem excessos, para o bom desempenho da atividade da biomassa microbiana na sua degradação (ALCÂNTARA et al., 2007).

O uso de resíduos que garantam um aporte de matéria orgânica no solo é uma alternativa viável para minimizar a necessidade de aplicação de nitrogênio via fontes minerais e prolongar o seu tempo de disponibilidade para as plantas. Segundo Souza e Melo (2000), o nitrogênio é um dos principais fatores limitantes ao aumento ou mesmo à manutenção da produtividade das culturas, pela sua dinâmica complexa e custo da obtenção na indústria.

Observou-se uma diminuição média de 6,8% nos teores de fósforo do solo nos tratamentos que receberam lodo de laticínio (Figura 6D), e esta redução também foi observada para o tratamento NPK. Essa baixa redução nos teores de P nos

tratamentos citados, somados a alta exploração desse nutriente pela cultura da aveia preta, evidencia um efeito residual. O tratamento testemunha não apresentou mudança no teor de P do solo após o segundo cultivo e a absorção deste nutriente pela cultura da aveia foi muito baixa nesse tratamento, evidenciando que as condições nutricionais do solo para o desenvolvimento de uma segunda cultura neste tratamento não foram adequadas.

Os valores de potássio encontrados no solo (Figura 6E) após o cultivo da aveia preta caíram pela metade em relação aos valores após o primeiro cultivo, variando de 14,25 (dose zero) a 23 mg dm^{-3} (doses 1,65 e 6,6 g kg^{-1}). Esse resultado é justificado pelo fato do resíduo ser pobre nesse nutriente além da complementação mineral realizada ter sido explorada pelas duas culturas.

Para os teores de Ca e Mg (Figura 6F e 6G) o comportamento dos dados foi semelhante aos encontrados após o cultivo do milho, com uma redução leve e uniforme em todos os tratamentos. Os teores desses elementos no solo se devem principalmente a adição de calcário nos tratamentos que receberam doses de lodo de laticínio e NPK, pois o tratamento testemunha, que não recebeu calagem, apresentou valores muito inferiores.

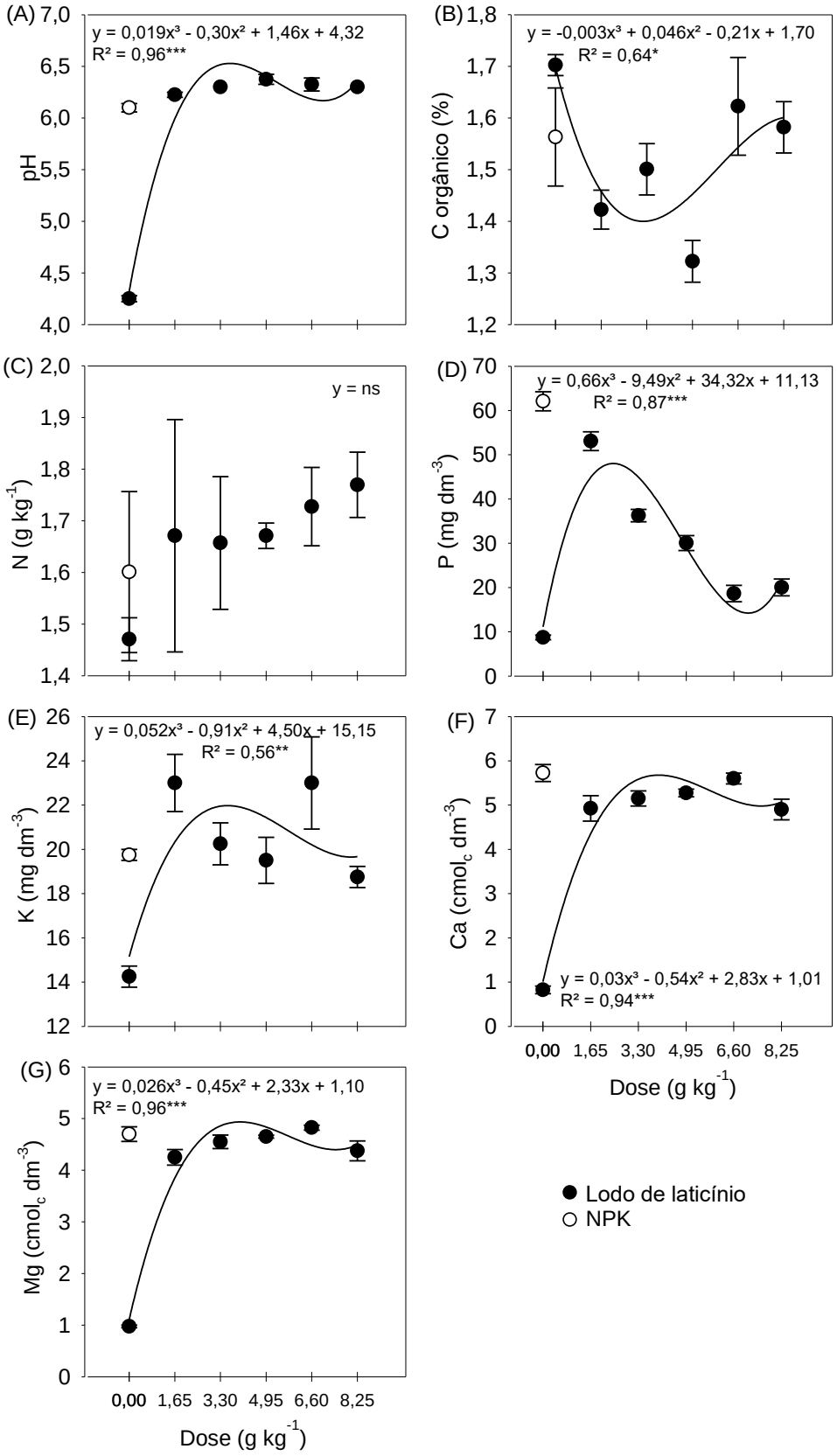

Figura 6 - Análise química do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho e aveia preta em sucessão, (A) pH, (B) C orgânico, (C) nitrogênio, (D) fósforo, (E) potássio, (F) cálcio e (G) magnésio.
*, **, ***, significativo à p<0,05, p<0,001 e p<0,0001, respectivamente. ns, não significativo (p>0,05). Barras indicam erro padrão da média.

Os dados de C mic apresentaram um ajuste polinomial cúbico, e observou-se uma diminuição dos valores a partir da dose de 4,95 g kg^{-1} de lodo de laticínio (Figura 7A). Já, o N mic (Figura 7B), com ajuste quadrático, teve um comportamento oposto ao C mic, sendo o valor de Nmic do tratamento testemunha superior aos demais tratamentos. Para Gama-Rodrigues et al. (1997) solos com baixa fertilidade, a taxa de decomposição da matéria orgânica é menor, propiciando a imobilização do N na biomassa microbiana, representando um compartimento de reserva.

Os valores de Cmic/Nmic (Figura 7C) também podem ser usados para expressar a eficiência da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Os valores aumentaram até a dose de 4,95 g kg^{-1}, onde apresentou o maior valor, e a partir desta observou-se declínio dos valores para esta variável. Já, a relação COT/NT (Figura 7D) teve um comportamento inverso ao da relação Cmic/Nmic, devido ao maior valor de C orgânico do solo no tratamento testemunha associado ao menor teor de N. Para os tratamentos que receberam lodo de laticínio essa relação ficou muito próxima, numa média de 8,9 mg kg^{-1}, que variou de 7,9 a 9,5 mg kg^{-1} nas doses de 4,95 e 6,6 g kg^{-1}, respectivamente. As relações de Cmic/COT e Nmic/NT tiveram ajuste polinomial cúbico e quadrático, respectivamente, e se comportaram de forma oposta (Figura 7E e 7F), demostrando uma falta de equilíbrio nas relações mantidas pelos microrganismos. Para Gama-Rodrigues et al. (1999) estas relações podem diminuir em solos com matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, onde a biomassa microbiana encontra-se sob condições de estresse, diminuindo a capacidade de utilização do N e do C orgânico.

Observando os dados de liberação de C-CO_2 verifica-se uma queda na atividade microbiana (Figura 7G) em relação a atividade dos microrganismos nas condições iniciais de cultivo do milho. A emissão média nos tratamentos com lodo de laticínio era de 221,37 mg C-CO_2 100 g de $solo^{-1}$ e passou para 38,93 mg C-CO_2 100 g de $solo^{-1}$ após os dois cultivos em sucessão. A redução da atividade se deve principalmente a diminuição nos percentuais de carbono orgânico do solo em todos os tratamentos, o que pode ter influenciado diretamente na população e na diversidade microbiana. Segundo Rosset et al. (2019) quanto maior o teor de carbono orgânico total do solo maior será o acúmulo total de C-CO_2 emitido. A respiração edáfica está diretamente relacionada à decomposição e mineralização da matéria orgânica (SIQUEIRA et al., 1994). Quando se adiciona ao solo fontes de carbono, estimula-se a respiração microbiana através da maior diversidade de microrganismos (SANDÉN et al., 2019).

O tratamento testemunha apresentou o maior valor de qCO_2 (Figura 7H) revelando baixa eficiência da população microbiana, com um ajuste quadrático observou-se um comportamento decrescente em relação ao aumento das doses de lodo de laticínio. Vieira et al. (2011) encontrou comportamento semelhante no uso de lodo de parboilização do arroz. Segundo Bardgett & Saggar (1994), o qCO_2 é utilizado como um indicador de estresse microbiano, por se tratar da avaliação da energia necessária para manutenção da atividade metabólica em relação à energia necessária para síntese de biomassa. Segundo Sakamoto & Obo (1994), um baixo quociente metabólico indica eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C disponível para biossíntese e reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do equilíbrio, valores elevados de qCO_2 são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse.

Os teores de C biodegradado após o cultivo da aveia preta (Figura 7I) tiveram uma redução drástica em relação aos valores obtidos nas condições do primeiro cultivo. Porém, tiveram o mesmo comportamento, com redução a partir da dose de 3,3 g kg^{-1}. Segundo Barreto et al. (2010), esse comportamento de queda do C biodegradado deve-se, possivelmente, a presença em maior proporção de resíduos de maior estabilidade. Outro fator que pode influir esse comportamento é a remineralização, quando a microbiota remanescente utiliza como fonte de carbono nutrientes e energia, compostos dos microrganismos impactados pelo estresse da modificação ambiental (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

A abundância de compostos orgânicos como carboidratos, lipídios, aminoácidos e lignina, presentes na matéria orgânica, influencia na taxa de degradação (HATTORI & MUKAI, 1986; BERNAL et al., 1998). Como pode-se observar, a taxa de biodegradação (Figura 7J), a exemplo do C orgânico, teve uma redução média de 84,2% em relação as condições iniciais do solo no primeiro cultivo e ao final do segundo cultivo. A redução nos teores de C orgânico e a presença de substâncias mais estáveis pode ter proporcionado esses resultados.

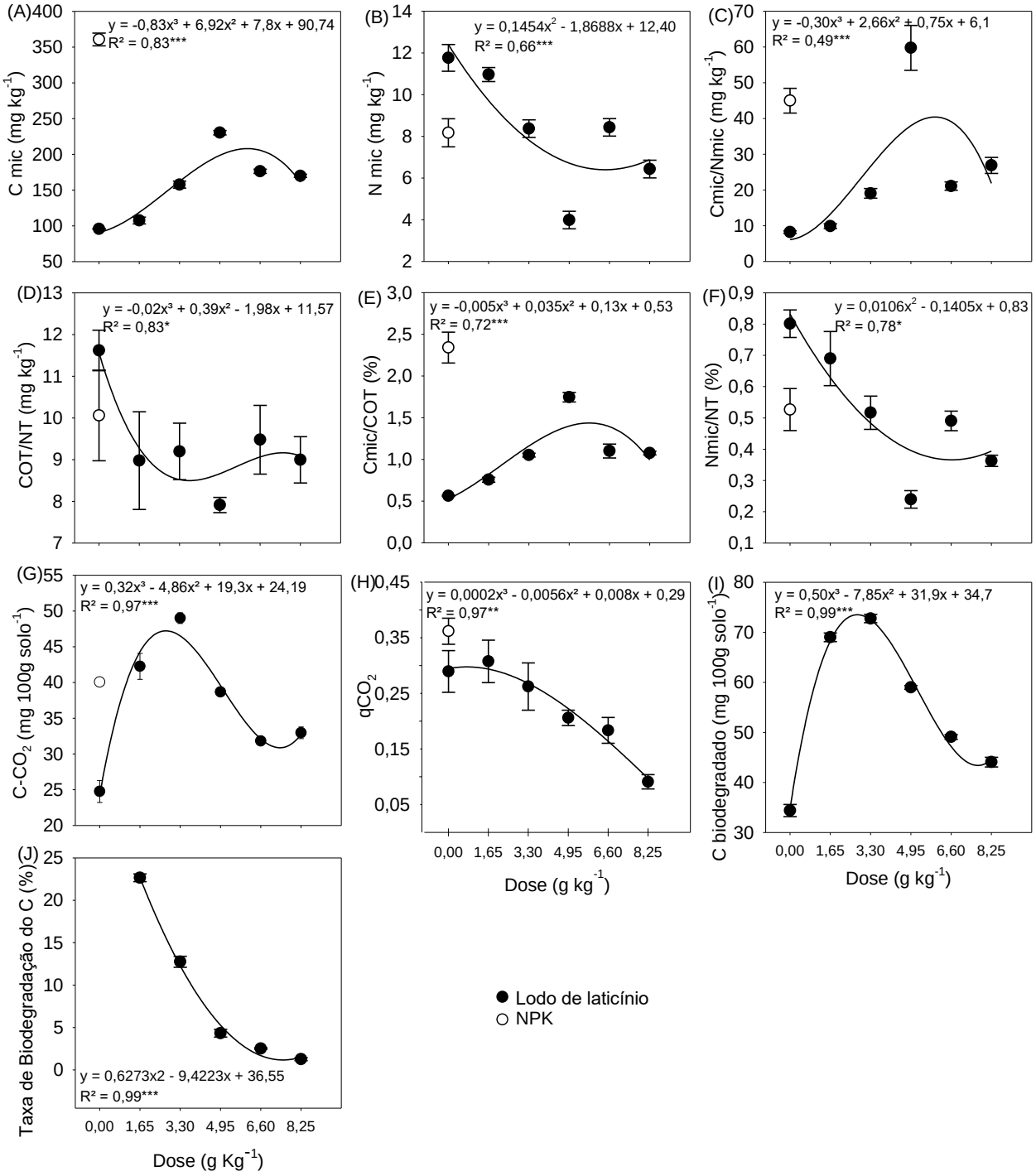

Figura 7 - Análise microbiológica do solo em resposta a doses crescentes de lodo de laticínio, após o cultivo de milho e aveia preta em sucessão, (A) Cmicrobiano, (B) Nmicrobino, (C) Cmic/Nmic, (D) COT/NT, (E) Cmic/COT, (F) Nmic/NT, (G) C-CO_2, (H) qCO_2, (I) C biodegradado e (J) Taxa de biodegradação.

*, **, ***, significativo à p<0,05, p<0,001 e p<0,0001, respectivamente. Barras indicam erro padrão da média.

Os valores de massa seca (Figura 8A) da fração vegetativa das plantas de aveia preta foram influenciadas pela aplicação de lodo de laticínio. Com um comportamento quadrático, os dados ajustados pelo modelo geraram a seguinte equação: $y = 0,2593\ x^2 + 3,2892\ x + 7,48$ e a partir desta calculou-se a dose de máxima eficiência técnica (DMET) que resultou em 6,34 g kg^{-1} de lodo de laticínio. Portanto, a partir desta dose não há incremento em massa seca das plantas de aveia preta.

Pode-se então considerar a dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo, a que mais se aproxima da DMET, indicada para a maior produção de massa seca de aveia preta, com valor próximo ao encontrado no tratamento NPK. Esse resultado indica um efeito residual do lodo de laticínio que proporcionou o desenvolvimento das plantas.

Marchesini et al. (1988) relatam que os incrementos de produtividade proporcionados por adubos orgânicos, embora menos imediatos e marcantes do que os obtidos com adubos minerais, apresentam maior duração, provavelmente pela liberação mais progressiva de nutrientes e pelo estímulo do crescimento radicular; os mesmos autores ainda destacam que o uso de resíduos orgânicos não só supre as plantas com nutrientes, como também contribui para manter a fertilidade natural, o que envolve os ciclos biológicos dos nutrientes em solos agrícolas, prevenindo sua exaustão.

O maior valor de N absorvido (Figura 8B) foi encontrado nas plantas de aveia preta que receberam a dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo, que foi a que apresentou maior massa seca de plantas dentre os tratamentos que receberam lodo de laticínio. Deve-se destacar que nessa dose o teor de N absorvido pelas plantas superou o tratamento NPK. Smith & Hadley (1989) relatam que parte do nitrogênio presente em adubos orgânicos resiste a rápida mineralização, e torna-se disponível somente às culturas subsequentes. Tal afirmação confirma os dados encontrados no presente trabalho, com maiores teores de N total no solo após dois cultivos consecutivos.

Para os valores de absorção de P (Figura 8C), a menor dose de lodo de laticínio, de 1,65 g kg^{-1}, proporcionou maior absorção e apresentou valor muito próximo ao tratamento NPK, a partir dessa dose os valores de absorção de P tiveram redução e ficaram abaixo do tratamento NPK.

Os resultados de absorção de K pelas plantas de aveia preta (Figura 8D) apresentaram aumento até a dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo, e nesta dose atingiu valores superiores ao tratamento NPK. Com o aumento da dose de laticínio para 8,25 g kg^{-1} observou-se declínio nos valores de K absorvidos pelas plantas, indicando que o

aumento dessa dose, assim como observado nos dados de massa seca de aveia preta, não contribui para o desenvolvimento e absorção de nutrientes nas culturas estudadas.

Os teores de Ca e Mg absorvidos pelas plantas de aveia preta (Figuras 8E e 8F) tiveram ajuste cúbico, com variações entre os tratamentos com doses de lodo de laticínio. Para os dados de absorção de Ca algumas doses de lodo ficaram próximo ao valor médio do tratamento NPK. Sendo que, todos os tratamentos que receberam calcário tiveram absorção de cálcio superior ao tratamento testemunha.

Os valores de absorção de Mg pelas plantas de aveia preta também foram superiores em todos os tratamentos que receberam calcário, em relação ao tratamento testemunha. Porém, os tratamentos com lodo de laticínio apresentaram uma absorção de magnésio menos que o tratamento NPK.

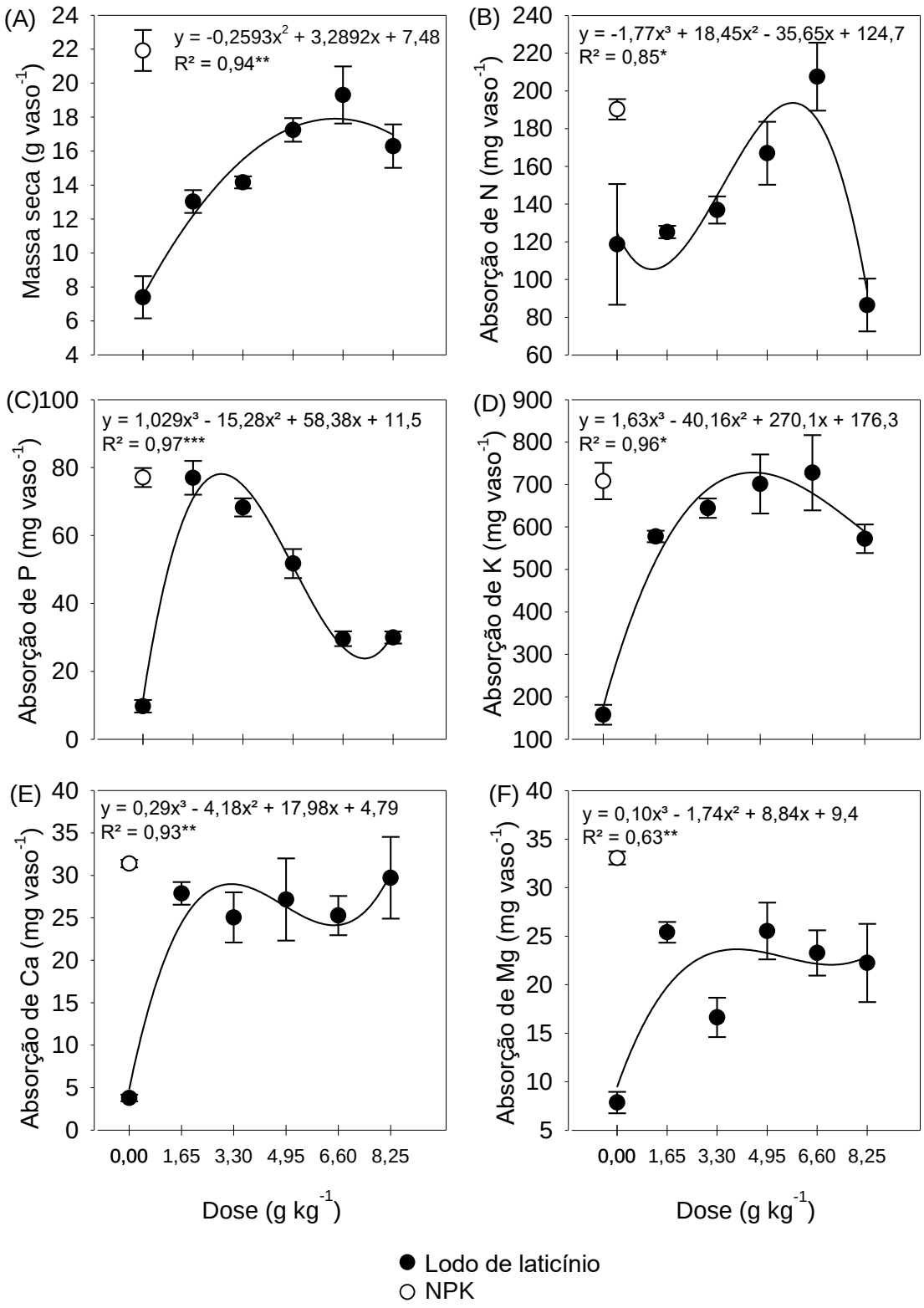

Figura 8 - Análise química da parte aérea de plantas de aveia preta submetidas ao residual de doses crescentes de lodo de laticínio, (A) Massa seca, Absorção de (B) nitrogênio, (C) fósforo, (D) potássio, (E) cálcio e (F) magnésio.
*, **, ***, significativo à p<0,05, p<0,001 e p<0,0001, respectivamente. Barras indicam erro padrão da média.

Segundo Vidigal et al. (1995), os efeitos residuais de compostos orgânicos podem ser verificados em até três cultivos sucessivos, em que os teores de macronutrientes atingiram níveis adequados no tecido foliar. Observando a absorção de nutrientes pelo tecido vegetal é evidente o efeito da aplicação do lodo de laticínio no desenvolvimento das plantas no segundo cultivo, superiores aos valores do tratamento testemunha e próximos aos encontrados no tratamento NPK. A absorção de nutrientes foi favorecida pela presença de lodo de laticínio, para nitrogênio e potássio na dose de 6,60 g kg^{-1}, e para fósforo na dose de 1,65 g kg^{-1} de lodo (Figura 8).

A aplicação de lodo em grandes doses ou em anos sucessivos traz grandes preocupações e, segundo Schroder et al. (2008), podem gerar riscos de poluição ambiental por adição de excesso de N nas formas orgânicas, que são degradados microbiologicamente a nitrato. As raízes das plantas absorvem apenas parte desse íon, que é muito móvel no solo e alcança facilmente corpos d'água superficiais ou sub-superficiais.

Segundo Boeira et al. (2002), até 70% do N orgânico adicionado via lodo pode permanecer no solo após a primeira colheita. Barbarick et al. (1996) verificaram que, após aplicações anuais de biossólidos urbanos em solos cultivados com trigo, apenas 2 a 9% do N aplicado foi removido pelos grãos, 35 a 54% permaneceu no solo como N residual e 38 a 63% foi perdido por desnitrificação, volatilização e lixiviação. Boeira et al. (2002) destacam que para determinar aplicações de lodo em sucessão, outros fatores além do N disponível no resíduo e a necessidade da planta devem ser considerados, entre eles o efeito residual das aplicações anteriores, incluindo a quantidade de N potencialmente mineralizável da camada arável, o teor de N mineral na camada de exploração de raízes e o sincronismo entre a época de maior liberação de N mineral pelo lodo e a época de demanda das plantas.

A partir disso, a relevância de estudos como este fica evidente. Determinar as alterações provocadas pela aplicação de resíduos orgânicos, como os lodos industriais, a longo prazo é importante para que sejam definidas doses que proporcionem eficiência agronômica sem causar prejuízos ambientais, como alterações nas características químicas e microbiológicas do solo. As doses de lodo aplicadas não provocaram prejuízos no desenvolvimento da aveia preta, algumas doses apresentaram melhor efeito sob a atividade microbiana do solo, além de terem contribuído na disponibilidade de nutrientes ao solo.

8.4. Conclusões

A aplicação de lodo de laticínio em solo previamente ao cultivo do milho apresentou efeito residual que proporcionou o desenvolvimento de um segundo cultivo com aveia preta.

A dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo de laticínio proporcionou desempenho agronômico e acúmulo de massa seca equivalente ao tratamento NPK, e ainda favoreceu a absorção de nutrientes como nitrogênio e potássio pelas plantas.

Além disso, a presença de lodo de laticínio favoreceu a disponibilidade de nutrientes ao solo e estimulou a atividade dos microrganismos em um segundo cultivo com aveia preta.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização agrícola do lodo da indústria de laticínios como forma de reaproveitamento desse material é justificada devido ao baixo custo operacional, o potencial de suas propriedades fertilizantes e a incorporação de matéria orgânica como fator de estímulo aos microrganismos do solo. Entretanto, na mesma proporção com que são enfatizadas as vantagens agrícolas, não se pode esquecer que, geralmente os nutrientes presentes nos resíduos estão em proporções desbalanceadas para a nutrição vegetal, que podem ser ajustadas com a combinação com outras fontes (minerais ou orgânicas) de nutrientes.

No presente estudo os resultados obtidos demonstraram que o lodo da indústria de laticínios não possui potencial para correção da acidez do solo, não elevando o pH do solo a níveis ideais para o cultivo de plantas. Apesar da aplicação de lodo de laticínio não demonstrar efeito sobre o aporte de nitrogênio total ao solo, a aplicação deste resíduo favoreceu a concentração de N mineral em condições de incubação e aumentou a absorção deste elemento pelas plantas de milho e aveia preta.

O uso de lodo de laticínio apresentou efeito significativo sobre os microrganismos do solo, estimulando a atividade microbiana. Os efeitos benéficos da aplicação do lodo de laticínio também foram observados no cultivo subsequente demostrando efeito residual sobre a produtividade da aveia preta.

Assim, há necessidade de se conduzir experimentos de maior duração, preferencialmente em condições de campo, para se conhecerem os efeitos de aplicações continuadas desse resíduo sobre o solo e sobre as plantas.

10. REFERÊNCIAS

ABIA. Números do Setor – Faturamento. Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, 2017. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2017.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2019.

ALBUQUERQUE, HERMANN C.; JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A.; PRATES, F.; AMARAL SOBRINHO, N. Residual effect of sewage sludge fertilization on sunflower yield and nutrition. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 1005-1011, 2015.

ALCÂNTARA, M.A.K.; AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O.A. Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume. **Pesq. Agropec. Bras**., v. 42, p. 548-555, 2007.

ALMEIDA, D.; KLAUBERG FILHO, O.; FELIPE, A. F.; ALMEIDA, H. C. Carbono, nitrogênio e fósforo microbiano do solo sob diferentes coberturas em pomar de produção orgânica de maçã no sul do Brasil. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1069-1077, 2009.

ALMENDRO-CANDEL, M. B.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; JORDÁN, M. M.; GÓMEZ, I.; MELENDEZ-PASTOR, I. Use of municipal solid waste compost to reclaim limestone quarries mine spoils as soil amendments: Effects on Cd and Ni. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 144, p. 363-366, 2014.

ANDERSON, J. P. E; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, p. 215-221, 1978.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

ANDRADE, L. C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Atividade microbiana em solos sob doses de lodo de estação de tratamento de efluentes de um aterro industrial. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.46, n.2, p.267-272, 2016.

ARMENTA, R.; VACA, R.; LUGO, J.; AGUILA, P. del. Microbiological and biochemical properties of an agricultural Mexican soil amended with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1646-1655, 2012.

BARBARICK, K. A.; IPPOLITO, J. A.; WESTFALL, D.G. Distribution and mineralization of biosolids nitrogen applied to dryland wheat. **J. Environ. Qual.**, v. 25, p. 796-801, 1996.

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effect of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labelled (14C) in a pasture soil. **Soil Biology and Biochemistry,** v.26, p. 727-733, 1994.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, n.3, p.735-745, 2010.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.69, p.175-189, 1998.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodo de esgoto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 37, p. 1639-1647, 2002.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p. 581-590, 2007.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 711-722, 2009.

BOECHAT, C. L.; RIBEIRO, M. O.; RIBEIRO, L. O.; SANTOS, J. A. G.; ACCIOLY, A. M. A. Lodos de esgoto municipal e industrial no crescimento inicial e qualidade de mudas de Pinhão manso. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 782-791, 2014.

BOECHAT, C. L.; DE SANTANA ARAUCO, A. M.; DE OLIVEIRA RIBEIRO, M.; BRITO, A. C. C.; DE SOUZA, A. A.; SANTOS, J. A. G. Soil chemical attributes and initial growth of corn crop by adding domestic and industrial sewage sludge. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, 2017.

BOHM, G. B.; BETEMPS, G. R.; BIERHALS, L. N.; SANCHES FILHO, P. J.; SCHWANZ,S. M. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto em Argissolo cultivado com soja. **Revista Thema**, v. 11, p. 12-23, 2014.

BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo: CETESB, 764p., 1979.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília: DF.

BRIÃO, V. B. **Estudo de Prevenção à Poluição de Resíduos Líquidos em uma Indústria de Laticínios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR, 2000.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem**. v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

BROWN, J. R., BOUGH, W. A., HOENSHELL, C. Use of lime-stabilized dairy-plant waste for forage production. **J. Prod. Agric**., v. 3, p. 340-344, 1990.

CARVALHO, G. R.; ROCHA, D. T.; GOMES, I. R. **O Mercado de Leite em 2017**. Circular técnica 118, Embrapa, Juiz de Fora - MG, 28p., 2018.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheese whey wastewater: characterization and treatment. **Sci. Total Environ**., v. 445–446, p. 385–396, 2013.

CASADO-VELA, J.; SELLÉS, S.; NAVARRO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MATAIX, J.; GUERRERO, C.; GOMEZ, I. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. **Waste Management**, v. 26, n. 9, p. 946-952, 2006.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimento de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 1083-1092, 2002.

CAVALLET, L. E.; SELBACH, P. A. Populações microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2863-2869, 2008.

CIAMPITTI, I. A., ELMORE, R. W., LAUER, J. Based on information from How a Corn Plant Develops (Special Report No. 48, 1986) and Corn Growth and Development (PMR 1009, 2011). Iowa State University Extension. 2016.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A. F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho para silagem: Tecnologias, sistemas e custo de produção.** Circular técnica nº 14, p.29-73, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (CQFS RS/SC). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBCS, 404 p., 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (CQFS RS/SC). **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBCS, 376 p., 2016.

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA, Comitê de tóxicos e patógenos em biossólidos aplicados ao solo, Conselho de Estudos Ambientais e Toxicologia. **Biossólidos aplicados à terra: aprimorando padrões e práticas**. National Academies Press, EUA, 2002.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 45, p. 137-187, mar. 2017.

DA SILVA, A. S. L. LOPES, V. S.; DE MELO MOURA, W.; BORGES, L. S.; DA COSTA, T. L.; DE FREITAS, M. A. S. Combinações percentuais de material orgânico e mineral na adubação de café arábica. **Anais...** X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2019.

FAGUNDES, Thalita Salgado. Uso de Polímero Natural a base de Amido como Auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com Flotação por Ar Dissolvido. 2010. 111f. Monografia – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

FALCO, Patrícia Bortoletto de. Estrutura da comunidade microbiana (algas e bactérias) em um sistema de lagoas de estabilização em duas escalas temporais: Nictemeral e Sazonal. 2005. 137 f. Tese - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente, FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios.** 2014.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 486-499, 2013.

FERREIRA, A. S. Efeitos da adição de resíduos de curtume e carboníferos nas plantas e no solo. Porto Alegre, 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. D.; OLIVEIRA, J. **Gramíneas forrageiras anuais de inverno.** Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul brasileira. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.127-172, 2009.

FREITAS, A.R.; LOPES, J.C.; ALEXANDRE, R.S.; VENANCIO, L..P; ZANOTTI, R.F. Emergência e crescimento de mudas de maracujá doce em função de lodo de esgoto e luz. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 2, p. 234-240, 2015.

GALLARDO, A.; SCHLESINGER, W. R. Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation extraction methods in a warm-temperate forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.927-932, 1990.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas topicais e subtropicais.** Porto Alegre, Gênesis, p.227-243, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2ª Ed. Porto Alegre: Metropole, p.159-170, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Seropédica, 108 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

GARAU, M. A.; FELIPÓ, M. T.; VILLA, M. C. R. D. Nitrogen mineralization of sewage sludges in soils. **J. Environ. Qual.**, v. 15, p. 225-228, 1986.

GARCÍA LÓPEZ, J.; JAMIN, E.; BUSON, C.; CARRAL VILARIÑO, E.; MOIRÓN RODRÍGUEZ, C.; LÓPEZ MOSQUERA, M. E. Biological Treatment of Wastewaters from a dairy industry (Besnier-Leche de Galicia, S. A.) In: **Actas V Congreso Internacional de Química de la ANQUE**. pp 191-203, 1999.

GONCALVES, P. W. B. Mineralização de carbono e nitrogênio e recuperação de nutrientes em solos com distintas texturas adubados com lodo de esgoto. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

GRAS, R.; MORISOT, A. Les déchets solides des industries agricoles et alimentaires. **Ann. Agron**., v. 25, p. 231-242, 1974.

GROTTO, D; CARNEIRO, MFH; SAUER, E; BARBOSA, F. 2013. Evaluation of biochemical and redox parameters in rats fed with corn grown in soil amended with urban sewage sludge. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 95, p. 188-194, 2013.

GUICHET, J. Evolution d' une rendzine consecutive a 25 annes d'epandage d'eaux residuaires de laiteries. **Sci. Sol** 25, 95-106, 1987.

HATTORI, H.; MUKAI, S. Decomposition of sewage sludge in soil as affected by their organic matter composition. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.32, n.3, p.421-432, 1986.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

HERNÁNDEZ ALLICA, J.; BECERRIL, J. M.; ZÁRATE, O.; GARBISU, C. Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. **Plant and Soil**, v. 281, p. 147-158, 2006.

HUE, N.V. Sewage sludge. In: RECHEIGL, J.E., ed. **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p.199-247.

IBGE. **Estatística da Produção Pecuária – Junho de 2017**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201701caderno.pdf >. Acesso em: 17 de agosto de 2017.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. M. Microbial biomass in soil: Movement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M. eds. **Soil biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1981. p.368-386.

JUMP, R. K.; OLSEN, F. J.; JONES, J. H.; MCCOY, G. C.; PATERSON, J. J. Applying dairy effluent on cropland. **Biocycle**, v. 22, p. 51-55, 1981.

JÚNIOR, C. C.; MARQUES, M. O.; JÚNIOR, L. C. T. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Eng. Agríc.,** Jaboticabal, v.28, n.1, p.196-203, 2008.

JUSTINA, M. D.; ALVES, M. V.; SKORONSKIA, E. Applying different doses of tannin coagulated dairy sludge in soil: Influences on selected pollutants leaching and chemical agronomic atributes. **Agricultural Water Management**, v. 209, p. 11-19, 2018.

KABIRINEJAD, S.; HOODAJI, M. The effects of biosolid application on soil chemical properties and Zea mays nutrition. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 4, 2012.

KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S.J.; BECKER, F. **Corretivos da acidez do solo**. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2, Santa Maria, 1989. Santa Maria, p. 210 – 218, 1989.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste management**, v. 32, n. 6, p. 1186-1195, 2012.

KHALIL, M. I.; ROSENANI, A. B.; CLEEMPUT, O.; BOECKX, P; SHAMAHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. Nitrous oxide production from an Ultisol of the humid tropics treated with different nitrogen sources and moisture regimes. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.59-65, 2002.

KISPERGHER, Eduardo Muchiutti. Digestão anaeróbia de efluentes da indústria de alimentos. 2013. 99f. Dissertação – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, n. 1, p. 257-265, 2002.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.30, p.741-750, 2006.

LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C.; EDUARDO, B. J. F. P.; CERRI, C. C. Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agroecossistemas: Comparação entre métodos de preparo do solo. **R. Setor Ci. Agr**,, v. 1391 p. 297-302,1994.

LIU, X.; LIU, W.; WANG, Q.; WU, L.; LUO, Y.; CHRISTIE, P. Soil properties and microbial ecology of a paddy field after repeated applications of domestic and industrial sewage sludges. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 9, p. 8619-8628, 2017.

LOPES, A. S.; COELHO, J. G. Micronutrientes: critérios de diagnose para o solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C. M. & LANTAMAN, A. F. (Ed.) **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA - IAPAR - SBCS, p. 133-178, 1988.

LOPES, J. C.; DE FREITAS, A. R.; DE OLIVEIRA CANDIDO, A.; VENANCIO, L. P.; FÁVARIS, N. A. B. Qualidade fisiológica de sementes de jiló produzidas com resíduos industriais e orgânicos. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, 2018.

LÓPEZ-MOSQUERA, M. E.; MOIRO'N, C.; CARRAL, E. Use of dairy-industry sludge as fertiliser for grasslands in northwest Spain: heavy metal levels in the soil and plants. **Resources, Conservation and Recycling,** v. 30, p. 95-109, 2000.

LÓPEZ-MOSQUERA, M. E.; MOIRO'N, C.; SEOANE, S. Changes in chemical properties of an acid soil after application of dairy sludge. **Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg**., v. 17, 2002.

LORENZ, K.; LAL, R. Biogeochemical C and N cycles in urban soils. **Environment International**, v.35, n.1, p.1-8, 2009.

MACHADO, Lívia Rodrigues Dias; DE BARROS TRANNIN, Isabel Cristina. Agricultural potential of an industrial sewage sludge in compliance with CONAMA Resolution no. 375/2006. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 4177-4184, 2015.

LU, Q.; HE, Z. L.; STOFFELLA, P.J. Land application of biosolids in the USA : a review. **Appl. Environ. Soil Sci**., v. 2012, 11p., 2012.

MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle ambiental em indústrias de laticínios. **Brasil Alimentos**, n. 7, p. 34-36, 2001.

MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUEREDO, D. V.; FERREIRA, P. E. **Controle ambiental em pequenas e médias indústrias de laticínios**. Belo Horizonte - MG: Projeto Minas Ambiente, 2002.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral de plantas. In: **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Ilha Solteira: Fundação Cargill, p. 32-101, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; SILVA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.

MALIK, S.; BEER, M.; MEGHARAJ, M.; NAIDU, R. The use of molecular techniques to characterize the microbial communities in contaminated soil and water, **Environment International**, v.34, n.2, p.265-276, 2008.

MARCHESINI, A.; ALLIEVI, L.; COMOTTI, E.; FERRARI, A. Long-term effects of quality-compost treatment on soil. **Plant and Soil**, v. 106, p. 253-261, 1988.

MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, T. A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Bioterra**, v.7, n.1, p. 133-143, 2007.

MARUMOTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.14, p.469-475, 1982.

MELO, W. J.; AGUIAR, P. S.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P. Nickel in a tropical soil treated with sewage sludge and cropped with maize in a long-term field study. **Soil Biol. Biochem**.v. 39, p.1341–1347, 2007.

MENDOZA, B.; FLORENTINO, A.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M.; ACIEGO, J.; TORRES, D.; VERA, E. Atributos biológicos de dos suelos de Quibor com aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.4, n.3, p.409-421, 2013.

METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. **Advances in Soil Science,** v.7, n.1, p.141-163, 1987.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Lavras: Editora UFLA, 729p., 2006.

MORISOT, A., GRAS, R. Caractérisation des effluents des industries agricoles et alimentaires. **Ann. Agron.**, v. 25, p. 209-229, 1974.

NATARAJAN, N.; KANNADASAN, N.; KRISHNAMOORTHY, R. A study on potential vermiconversion derived from dairy wastewater sludge and in agricultural use. **International Journal of Nano Corrosion Science and Engineerig**. ISSN Online: 2395-7018 2(5), p. 99-107, 2015.

NAVARRO-PEDREÑO, J.; ALMENDRO-CANDEL, M. B.; JORDÁN-VIDAL, M. M.; MATAIX-SOLERA, J.; GARCÍA-SÁNCHEZ, E. Mobility of cadmium, chromium, and nickel through the profile of a calcisol treated with sewage sludge in the southeast of Spain. **Environmental Geology**, v. 44, n. 5, p. 545-553, 2003.

NIRENBERG, L. P.; FERREIRA, O. M. Tratamento de águas residuárias de indústria de laticínios: eficiência e análise de modelos matemáticos do projeto da Nestlè. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2005.

NOGUEIROL, R. C.; MELO, W. J.; BERTONCINI, E. I.; ALLEONI, L. R. F. Concentrations of Cu, Fe, Mn, and Zn in tropical soils amended with sewage sludge and composted sewage sludge. **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, n. 4, p. 2929-2938, 2013.

OLIVEIRA, J. F. Mineralização da Matéria Orgânica e Lixiviação De Solutos de Águas Residuárias de Laticínios e Abatedouro aplicadas em Solos cultivados com Capim-Tifton 85. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Universidade Federal de Lavras, 2016.

PAGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In. ANDREOLI, C.V. (Coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, p. 1-6, 2006.

PATTNAIK, R.; YOST, R.S.; PORTER, G.; MASUNAGA, T.; ATTANANDANA, T. Improving multi-soil-layer (MSL) system remediation of dairy effluent. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 32, p. 1-10, 2008.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2.ed. California: Academic Press, 340p., 1996.

PEREIRA, E. G.; DIAS, A. DOS S.; PEREIRA, D. S.; SANTOS, J. S. Desenvolvimento inicial do rabanete submetido à adubação orgânica e microrganismos eficientes. **Anais...** IV SIMPA Simpósio de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa, 2015.

PESCOD, M.B. Tratamento de águas residuais e uso na agricultura. 1992.

PIRES, M. A. M. M.; MATIAZZO, M. E. Avaliação da Viabilidade de Resíduos na Agricultura. **Circular Técnica 19**, Embrapa. Jaguariúna, SP, nov. 2008.

PORWAL, H. J.; MANE, A. V.; VELHAL, S. G. Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge**. Water Resources and Industry**, v. 9, p. 1-15, 2015.

POURCHER, A. M., FRANÇOISE, P. B., VIRGINIE, F., AGNIESZKA, G., VASILICA, S., & GÉRARD, M. Survival of faecal indicators and enteroviruses in soil after land-spreading of municipal sewage sludge. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 3, p. 473-479, 2007.

QASIM, W.; MANE, A. V. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. **Water Resources and Industry**, v. 4, p. 1-12, 2013.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A. M. L. **Recomendações de adubação e de calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (Boletim Técnico, 100), 285p. 1997.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

REZIG, A. M. R.; ELHADI, E. A.; MUBARAK, A. R. Effect of incorporation of some wastes on a wheat-guar rotation system on soil physical and chemical properties. **International Journal of Recycling of organic waste in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 1, 2012.

RIBEIRO, L. M.; SCHNEIDER, L.; SANCHES FILHO, P. J.; BOHM, G. B. Caracterização do lodo proveniente do reator anaeróbio de leito fluidizado, localizado no município de Pelotas / RS. **Revista Thema**, Pelotas, v.9, n.1, p. 1-2, 2012.

RODRIGUES, Kelly; MARINHO, Glória. **Fungos e Águas residuárias industriais: Nova Tecnologia**. Recife: Imprima, 200 p., 2012.

SAHA, S.; GOPINATH, K. A; MINA, B. L.; GUPTA, H. S. Influence of continuous application of inorganic nutrientes to a Maize–Wheat rotation on soil enzyme activity and grain quality in a rainfed Indian soil. **European journal of soil biology**, v. 44, n. 5-6, p. 521-531, 2008.

ROSSET, J. S.; ALBERTO, J. S.; MARRA, L. M.; DE PIERRI CASTILHO, S. C.; OZÓRIO, J. M. B.; LIMA, P. R.; DE SOUZA, L. C. Carbono total e mineralizável do solo adubado com diferentes fontes de fertilizantes e resíduos orgânicos. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 2, 2019.

SANTOS, D. S.; ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Degradação da fração orgânica de lodos de esgoto após aplicação no solo. In: FERTBIO, Rio de Janeiro, 2002. **Resumos...** Rio de Janeiro, SBCS, 2002.

SANTOS, V. B. dos; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M.V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 3, 2004.

SANTOS, J. A.; NUNES, L. A. P. L.; MELO, W. J.; ARAÚJO, A. S. F. Tannery sludge compost amendment rates on soil microbial biomass of two diferent soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, p. 146-151, 2011.

SANTOS, P. M.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. E. C. Resíduo de laticínio em pastagem de capim Mombaça: atributos químicos da forragem e do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil. v. 34, n. 1, p. 377-390, 2013.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO2 evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fert. Soil**, n.17, p.39-44, 1994.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"**, nº 367/368, v. 64, p. 10-18, 2009.

SCHRODER, J. L.; ZHANGA, H.; ZHOUB, D.; BASTAC, N.; RAUNA, W. R.; PAYTOND, M. E. & ZAZULAKE, A. The effect of long-term annual application of biosolids on soil properties, phosphorus, and metals. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 72, p. 73-82, 2008.

SEGATTO, M. P. **Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas.** Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, UFRGS, Set., 2001.

SEGATTO, M. P.; ANDREAZZA, R.; BORTOLON, L.; SNTOS, V. P.; GIANELLO. C.; CAMARGO, F. A. O. Decomposição de resíduos industriais no solo. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.34, n.1, p.49-62, 2012.

SELMA, M.V.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; ALLENDE, A.; ROS, M.; HERNÁNDEZ, M. T.; GIL, M. I. Impact of Organic Soil Amendments on Phytochemicals and Microbial Quality of Rocket Leaves (*Eruca sativa*). **J. Agric. Food Chem**., v. 58, p.8331–8337, 2010.

SHAND, C. Plant Nutrition for Food Security. A Guide for Integrated Nutrient Management. By RN Roy, A. Finck, GJ Blair and HLS Tandon. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006), p. 348, **Experimental Agriculture**, v. 43, n. 1, p. 132-132, 2007.

SILVA, D. J. P. Gestão ambiental em uma indústria de produtos lácteos. **Revista Leite e Derivados**. Ano XV. n. 94, p. 52-63, 2006.

SILVA, D. J. **Resíduos na Indústria de Laticínios**. Série Sistema de Gestão Ambiental. Viçosa – MG. Janeiro, 2011.

SILVA, A. R. B. Tratamento de Efluentes na Indústria de Laticínios. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheiro Químico). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG, 26p., 2013.

SILVA, S. D. A. E.; SILVA, M. T.; EICHOLZ, E. D.; MONTEIRO, C. R.; SANCHES FILHO, P. J.; MARCO, E. Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto como Insumo para Produção Agrícola. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.

SILVEIRA, W. B. Produção de etano em permeado de queijo: efeito da concentração de substrato e do nível de oxigênio, Tese de Mestrado - UFV, 2004.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.

SMITH, S. R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. **Environment International**, v. 35, n. 1, p. 142-156, 2009.

SMITH, J.L. & PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M. & STOTZKY, G., eds. **Soil biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1990. p.357-396.

SMITH, S. R.; HADLEY, P. A comparison of the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizers on the growth response of summer cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* cv. Hispe F1). **Journal of Horticultural Science**, v. 63, n. 4, p. 615-620, 1988.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 24, n. 4, p. 885-896, 2000.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 205-274, 2007.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 04, n. 11, p. 182-194, 2018.

SILVA JUNIOR, J. M. T.; TAVARES, R. D. C.; MENDES FILHO, P. F.; GOMES, V. F. Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.4, p.378-382, 2009.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2.ed. New York: Oxford University, 2008. 329p.

STORK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J. Et al. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2000. 198p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. Methodsof soil analysis. Madison, **Americam Society of Agronomy**, v. 2., p.1151-1572, 1965.

TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TRANNIM, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 223-230, 2008.

ULTRA, V. U.; YANO, A. Jr.; lWASAKI. K.; TANAKA, S.; KANG, Y.; SAKURAI, Influence of chelating agent addition on copper distribution and microbial activity in soil and copper uptake by Brown mustard (Brassica juncea). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 193-202, 2005.

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica: I. Ensaio de campo. **Revista Ceres**, v. 42, n. 239, p. 80-88, 1995.

VIEIRA, T. A. Implicações da disposição de lodos de estações de tratamento de esgoto em solo no Brasil. Rio Claro, 44 p., 2015. Monografia (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista.

VIEIRA, G. D.; 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**, v. 35, p. 543-550, 2011.

YADAV, S. K.; JUWARKAR, A. A.; KUMAR, G. P.; THAWALE, P. R.; SINGH, S. K.; CHAKRABARTI, T. Bioaccumulation and phyto-translocation of arsenic, chromium and zinc by Jatropha curcas L.: impact of dairy sludge and biofertilizer. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 20, p. 4616-4622, 2009.

ZOCCAL, R. Alguns números do leite. Website: Balde Branco. 13 de setembro de 2016. Acesso em: <http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>. Visto em: 17 de agosto de 2017.

WONG, J. W. C.; LAI, M.; FANG, M.; MA, K. K. Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. **Environment International**, Elmsford, v. 24, n.8, p. 935-943, 1998.

Apêndices

Figura 9 - Plantas de milho cultivadas em Planossolo com aplicação de doses de lodo de laticínio, após 63 dias de cultivo.
T1: testemunha; T2: NPK; T3: dose de 1,65 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T4: dose de 3,30 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T5: dose de 4,95 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T6: dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de K e T7: dose de 8,25 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de K.

Figura 10 - Plantas de aveia preta cultivadas em Planossolo sob efeito residual de doses de lodo de laticínio, após 100 dias de cultivo.
T1: testemunha; T2: NPK; T3: dose de 1,65 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T4: dose de 3,30 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T5: dose de 4,95 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de P e K; T6: dose de 6,60 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de K e T7: dose de 8,25 g kg^{-1} de lodo de laticínio + complementação de K.

Apêndice A - Dados de pH obtidos a partir da incubação de doses de lodo de laticínicio em Planossolo.

Dose (g kg^{-1})	**06/12/2017**	**12/12/2017**	**19/12/2017**	**29/12/2017**	**03/01/2018**	**10/01/2018**	**17/01/2018**
0,0	4,37	4,14	4,23	4,10	3,53	3,74	3,80
0,0	4,31	4,42	4,20	4,05	3,51	3,63	3,70
0,0	4,21	4,23	4,15	3,95	3,27	3,60	3,67
16,4	4,31	4,29	4,28	4,11	3,44	3,72	3,75
16,4	4,35	4,26	4,29	4,11	3,48	3,66	3,67
16,5	4,39	4,47	4,37	4,14	3,53	3,77	3,83
32,8	4,32	4,28	4,31	4,22	3,41	3,79	3,79
32,8	4,42	4,37	4,42	4,22	3,56	3,79	3,69
32,8	4,44	4,44	4,44	4,39	3,61	3,84	3,92
65,5	4,49	4,62	4,45	4,39	3,66	3,94	4,03
65,5	4,53	4,69	4,44	4,35	3,76	3,90	3,96
65,5	4,45	4,53	4,44	4,37	3,66	3,87	3,92
98,3	4,82	4,93	4,92	4,85	4,33	4,40	4,18
98,3	4,75	4,69	4,67	4,63	3,95	4,16	4,15
98,3	4,50	4,57	4,53	4,40	3,68	4,00	4,02
131,0	4,92	4,89	4,96	4,90	4,36	4,34	4,24
131,0	4,77	4,81	4,76	4,56	3,96	4,17	4,21
131,0	4,76	4,77	4,76	4,68	3,96	4,18	4,14

Apêndice B - Dados de química do solo no cultivo de milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Dose (g kg^{-1})	P (mg dm^{-3})	K (mg dm^{-3})	Ca (cmolc dm^{-3})	Mg ($cmol_c$ dm^{-3})	N total (g kg^{-1})	C_{org} do Solo (%)	pH	N total incubação (g kg^{-1})	N mineral incubação (mg kg^{-1})
0	8,40	20,00	0,70	1,20	1,38	1,78	4,47	1,61	62,05
0	8,50	20,00	0,70	1,30	1,38	2,04	4,57	1,82	60,15
0	9,40	21,00	0,80	1,30	1,46	1,97	4,48	1,66	60,22
0	8,40	19,00	0,70	1,20	1,42	1,91	4,51	1,72	61,05
1,65	53,50	44,00	6,50	5,30	1,41	2,04	6,60	1,67	82,34
1,65	54,00	39,00	6,40	5,20	1,43	2,04	6,47	1,65	79,18
1,65	59,90	45,00	6,10	4,90	1,41	2,10	6,46	1,54	82,11
1,65	58,80	40,00	6,70	5,30	1,46	1,98	6,56	1,67	81,25
3,3	40,60	42,00	6,40	5,20	1,35	2,04	6,61	1,78	108,53
3,3	39,00	45,00	6,30	5,10	1,36	2,09	6,48	1,66	95,49
3,3	37,40	43,00	6,50	5,30	1,48	2,06	6,62	1,54	91,65
3,3	37,40	45,00	6,70	5,40	1,60	2,20	6,68	1,67	99,64
4,95	38,50	45,00	6,00	5,10	1,28	1,95	6,63	1,70	109,23
4,95	33,20	41,00	6,50	5,50	1,53	2,09	6,75	1,61	103,01
4,95	34,20	43,00	6,20	5,20	1,42	2,04	6,69	1,78	115,42
4,95	32,00	42,00	6,70	5,60	1,48	1,92	6,78	1,72	120,86
6,6	15,00	50,00	6,20	5,20	1,45	1,96	6,71	1,57	115,05
6,6	16,00	50,00	6,30	5,00	1,52	2,00	6,69	1,77	108,64
6,6	16,00	49,00	6,00	5,10	1,55	2,22	6,76	1,69	118,51
6,6	18,00	49,00	6,00	5,20	1,45	2,05	6,74	1,68	113,10
8,25	23,00	42,00	6,40	5,30	1,52	1,67	6,78	1,67	123,15
8,25	25,70	45,00	6,70	5,50	1,43	2,03	6,85	1,99	126,98
8,25	22,50	47,00	6,40	5,30	1,38	1,93	6,79	1,68	122,89
8,25	23,50	43,00	6,10	5,20	1,48	1,78	6,76	1,83	118,56
NPK	67,40	57,00	6,40	5,10	1,43	2,04	6,44	1,59	146,66
NPK	70,00	58,00	6,90	5,60	1,46	2,11	6,39	1,55	145,17
NPK	69,50	55,00	6,70	5,60	1,63	2,10	6,58	1,51	148,26
NPK	67,40	59,00	6,50	5,40	1,07	2,16	6,54	1,70	143,06

Apêndice C - Dados de microbiologia do solo no cultivo de milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Doses (g kg^{-1})	Liberação C-CO_2 (mg C-CO_2 100g $solo^{-1}$)	qCO_2	C mic (mg kg^{-1})	N mic (mg kg^{-1})	COT/NT (mg kg^{-1})	Cmic/Nmic (mg kg^{-1})	Cmic/COT (%)	Nmic/NT (%)	C biodeg total (mg 100g $solo^{-1}$)	Taxa de Biod. (%)
0	133,4	1,366943	97,59001	9,422885	12,92187	10,3567	0,548131	0,683893	200,1	ne*
0	142,2	1,353433	105,0662	9,662975	14,77633	10,87307	0,51606	0,701318	213,3	
0	134,6	1,351541	99,59001	10,39727	13,47468	9,578478	0,505319	0,710866	201,9	
0	133,6	1,482569	90,11383	10,77961	13,45172	8,359654	0,47169	0,759007	200,4	
1,65	216,3	0,858054	252,0822	9,348087	14,4997	26,96618	0,798314	0,898213	324,45	96,11244
1,65	212,4	0,824671	257,5572	11,20821	14,19991	22,97933	0,79894	0,744303	318,6	91,44737
1,65	217,8	0,843018	258,3574	10,39057	14,90914	24,86459	0,779448	0,587203	326,7	97,9067
1,65	210,4	0,822764	255,7235	10,06589	13,54178	25,40495	0,738157	0,950573	315,6	89,05502
3,3	218,4	1,426584	153,093	6,135425	15,11595	24,9523	1,236428	0,664826	327,6	49,3122
3,3	220,2	1,452004	151,6525	4,363407	15,32422	34,75551	1,264534	0,78141	330,3	50,38876
3,3	217,4	1,362322	159,5804	7,459788	13,94863	21,39209	1,232406	0,738967	326,1	48,71411
3,3	217,2	1,415279	153,4679	6,619972	13,73258	23,18257	1,29111	0,68821	325,8	48,5945
4,95	217,7	1,48469	146,6299	11,03233	15,23213	13,29093	0,750456	0,454621	326,55	32,59569
4,95	214	1,477547	144,8346	10,73003	13,59944	13,49806	0,725692	0,319968	321	31,12041
4,95	214,8	1,447032	148,4418	11,74149	14,34121	12,6425	0,774712	0,505148	322,2	31,43939
4,95	217,2	1,48822	145,9461	12,1058	12,98692	12,05589	0,696752	0,412733	325,8	32,39633
6,6	227,6	2,004958	113,5186	10,12788	13,5658	11,20852	0,7527	0,862635	341,4	27,4073
6,6	223,9	1,886738	118,6704	10,84063	13,19697	10,94682	0,694593	0,69981	335,85	26,30084
6,6	226,8	1,918874	118,1943	11,05256	14,31605	10,69384	0,728808	0,826734	340,2	27,16806
6,6	222,5	1,736859	128,1048	10,56047	14,17364	12,1306	0,76099	0,819758	333,75	25,88218
8,25	236,7	1,374958	172,1507	9,034656	10,97415	19,05448	0,577705	0,699203	355,05	24,10287
8,25	232,2	1,275473	182,05	8,459041	14,16573	21,52136	0,591927	0,7136	348,3	23,02632
8,25	232,2	1,304503	177,9988	9,083917	14,04335	19,59494	0,533541	0,714262	348,3	23,02632
8,25	231,6	1,429289	162,0386	8,698281	12,05629	18,62881	0,623977	0,729068	347,4	22,88278
NPK	274,7	1,689436	162,5987	12,88358	14,19991	12,62061	1,032614	0,594719	ne	ne
NPK	274,4	1,630038	168,3396	10,88633	14,40591	15,4634	0,895972	0,589744		
NPK	272,8	1,664574	163,8857	9,584334	12,88191	17,09933	0,919921	0,659291		
NPK	269,2	1,688496	159,4318	10,14201	20,24362	15,71995	0,910117	0,589014		

*ne: não estimado. Segundo as metodologias e equações utilizadas não é possível obter os valores das variáveis nesses tratamentos.

Apêndice D - Dados obtidos a partir da análise química do tecido vegetal de plantas de milho cultivadas em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Dose (g kg^{-1})	Abs P (mg vaso^{-1})	Abs K (mg vaso^{-1})	Abs Ca (mg vaso^{-1})	Abs Mg (mg vaso^{-1})	Abs N (mg vaso^{-1})	MS Milho (g)
0	56,93	523,38	50,43	176,44	398,24	38,87
0	32,82	430,78	54,11	130,46	360,52	27,58
0	18,35	165,99	20,90	49,34	153,84	10,32
0	49,32	577,82	57,61	163,73	482,39	32,51
1,65	71,42	2027,15	196,18	321,82	782,18	73,80
1,65	80,60	2213,00	180,59	358,00	537,64	76,09
1,65	98,81	2178,59	231,86	329,89	714,52	76,32
1,65	99,47	2564,52	250,19	412,38	650,66	89,84
3,30	89,19	2116,07	208,78	388,47	759,49	74,13
3,30	88,60	2014,45	209,92	368,02	872,61	70,57
3,30	75,55	1860,00	145,05	315,44	654,40	62,79
3,30	100,74	2177,16	219,64	393,53	970,04	76,27
4,95	47,42	1772,52	158,87	279,51	758,70	55,78
4,95	79,66	2021,52	206,40	307,54	912,99	61,53
4,95	45,76	1406,80	143,95	211,93	695,38	43,74
4,95	89,40	1990,32	200,75	363,59	859,49	61,59
6,6	53,06	1628,98	125,69	244,86	708,06	36,44
6,6	86,39	2662,68	203,50	383,13	970,71	58,46
6,6	69,83	2078,70	190,45	300,31	799,32	45,25
6,6	43,84	1595,34	116,40	217,47	563,48	32,55
8,25	70,31	1725,39	155,64	276,88	831,97	41,68
8,25	87,89	2001,15	202,31	365,76	868,67	54,64
8,25	74,91	1643,48	187,05	302,82	771,80	45,40
8,25	77,76	1803,78	198,53	314,58	799,91	47,17
NPK	141,06	2238,56	291,24	479,48	1444,98	98,96
NPK	151,45	2381,15	231,15	419,10	1544,94	96,11
NPK	142,55	2318,75	214,51	397,10	1343,00	91,60
NPK	138,20	2099,38	222,03	394,29	1300,58	86,62

Apêndice E - Dados de química do solo após o cultivo de aveia preta em sucessão ao milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Dose (g kg^{-1})	P (mg dm^{-3})	K (mg dm^{-3})	Ca (cmolc dm^{-3})	Mg ($cmol_c$ dm^{-3})	N total (g kg^{-1})	C_{org} do Solo (%)	pH
0	10,10	15,00	0,90	1,00	1,35	1,76	4,30
0	7,90	15,00	1,00	1,00	1,48	1,68	4,30
0	9,00	14,00	0,80	1,00	1,52	1,68	4,20
0	7,90	13,00	0,60	0,90	1,53	1,68	4,20
1,65	53,90	22,00	4,40	4,10	1,24	1,44	6,20
1,65	57,30	24,00	4,50	3,90	2,25	1,36	6,20
1,65	53,90	26,00	5,20	4,50	1,79	1,52	6,20
1,65	47,20	20,00	5,60	4,50	1,41	1,36	6,30
3,3	37,10	19,00	5,50	4,80	1,55	1,36	6,30
3,3	32,60	20,00	4,70	4,20	1,49	1,52	6,30
3,3	36,00	19,00	5,30	4,70	2,04	1,52	6,30
3,3	39,30	23,00	5,10	4,50	1,55	1,60	6,30
4,95	25,80	17,00	5,20	4,70	1,62	1,20	6,40
4,95	31,50	22,00	5,10	4,60	1,69	1,36	6,30
4,95	33,70	20,00	5,30	4,70	1,65	1,36	6,30
4,95	29,20	19,00	5,50	4,60	1,73	1,36	6,50
6,6	15,70	18,00	5,40	4,70	1,73	1,36	6,50
6,6	15,20	28,00	5,40	4,80	1,69	1,76	6,20
6,6	22,30	22,00	5,90	4,90	1,93	1,60	6,30
6,6	21,30	24,00	5,70	4,90	1,56	1,76	6,30
8,25	23,30	20,00	5,50	4,80	1,65	1,68	6,30
8,25	17,30	18,00	4,70	4,10	1,87	1,44	6,30
8,25	23,30	18,00	5,00	4,60	1,67	1,60	6,30
8,25	16,20	19,00	4,40	4,00	1,89	1,60	6,30
NPK	66,30	20,00	5,20	4,30	1,58	1,68	6,00
NPK	61,80	20,00	5,70	4,70	1,65	1,76	6,10
NPK	64,00	20,00	6,10	4,90	1,21	1,44	6,20
NPK	56,20	19,00	5,90	4,90	1,97	1,36	6,10

Apêndice F - Dados de microbiologia do solo no cultivo da aveia preta sob doses de lodo de laticínio em sucessão ao milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Doses	Liberação C-CO_2 (mg C-CO_2 100g $solo^{-1}$)	qCO_2	C mic (mg kg^{-1})	N mic (mg kg^{-1})	COT/NT (mg kg^{-1})	Cmic/Nmic (mg kg^{-1})	Cmic/COT (%)	Nmic/NT (%)	C biodeg total (mg 100g $solo^{-1}$)	Taxa de Biod. (%)
0	24,3	0,255311	95,17786	10,84271	13,05222565	8,778052	0,539759	0,802576	36,45	ne*
0	26,1	0,391867	97,22684	13,60244	11,38389606	7,147752	0,577997	0,920549	34,15	
0	20,7	0,217279	95,26907	11,68921	11,06767672	8,150174	0,566358	0,769096	31,05	
0	27,9	0,293082	95,19505	10,92287	10,96613841	8,715203	0,565918	0,712082	35,85	
1,65	40,3	0,416421	119,5751	10,26505	11,66269445	11,64876	0,827901	0,828892	70,45	21,36124
1,65	45,3	0,269048	96,57671	11,0929	6,053828346	8,706175	0,708503	0,492657	67,95	23,41866
1,65	38,1	0,24306	107,3493	10,65986	8,503149079	10,07042	0,706375	0,596441	67,15	22,80622
1,65	45,3	0,301195	106,322	11,83161	9,686125353	8,98627	0,779997	0,840743	70,45	23,00718
3,3	49,3	0,303192	144,8055	9,358372	8,805568503	15,47336	1,062318	0,604543	73,95	12,0634
3,3	50,7	0,361443	168,3713	7,978618	10,18773522	21,10281	1,107909	0,534861	71,05	13,88158
3,3	47,1	0,203915	156,7517	7,414862	7,447585745	21,14021	1,03145	0,363375	71,65	13,78589
3,3	48,9	0,180219	160,3613	8,720445	10,34185918	18,38912	1,001677	0,563333	74,35	11,27392
4,95	38,3	0,184565	228,5678	4,472902	7,419159845	51,10056	1,903627	0,276383	58,95	3,688198
4,95	38,7	0,220563	223,2719	3,240836	8,071771128	68,8933	1,63796	0,191909	58,05	4,841308
4,95	37,7	0,180622	230,9789	4,916513	8,278739618	46,98022	1,6945	0,298601	59,05	3,448963
4,95	39,9	0,2374	238,0443	3,305032	7,874898661	72,02481	1,746333	0,190937	59,85	5,319777
6,6	32,1	0,183906	180,4238	7,466173	7,874898661	24,1655	1,32362	0,431333	48,15	2,407297
6,6	32,9	0,242777	175,46	9,474236	10,44178052	18,5197	0,995043	0,561025	49,85	2,739833
6,6	30,3	0,176824	181,0413	8,564846	8,303682552	21,13772	1,130852	0,444241	48,45	2,36244
6,6	31,9	0,12967	168,0708	8,209474	11,28841138	20,47279	0,953138	0,525547	49,85	2,568182
8,25	32,5	0,073944	174,5457	5,279241	10,21631698	33,06266	1,037644	0,320631	43,25	1,028708
8,25	35,3	0,129067	164,3485	7,318226	7,716670014	22,45742	1,137899	0,390997	46,95	1,083732
8,25	31,5	0,081771	171,3572	6,612151	9,559701761	25,91551	1,070362	0,394835	43,25	1,782297
8,25	32,5	0,078824	168,8904	6,502063	8,489585892	25,97489	1,054953	0,344799	42,75	1,172249
NPK	40,1	0,293539	344,8543	7,251591	10,67240255	47,55567	2,050099	0,460082	ne	ne
NPK	39,7	0,400718	350,9814	10,11953	10,70951848	34,68355	1,990434	0,614602		
NPK	40,5	0,377273	385,2222	7,98927	11,93391991	48,21745	2,667161	0,660128		
NPK	39,9	0,375275	361,567	7,316889	6,918660967	49,4154	2,652517	0,371379		

*ne: não estimado. Segundo as metodologias e equações utilizadas não é possível obter os valores das variáveis nesses tratamentos.

Apêndice G - Dados de análise química do tecido vegetal de plantas de aveia preta em sucessão ao milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Dose	Abs P (mg vaso^{-1})	Abs K (mg vaso^{-1})	Abs Ca (mg vaso^{-1})	Abs Mg (mg vaso^{-1})	Abs N (mg vaso^{-1})	MS Aveia (g)
0	11,60	147,76	3,23	8,05	89,78	6,38
0	7,11	127,00	4,35	6,76	92,18	6,55
0	14,04	226,56	4,55	10,87	214,21	11,07
0	6,13	129,23	3,00	5,76	78,53	5,58
1,65	75,02	564,16	26,44	24,49	131,62	12,47
1,65	71,28	561,26	26,21	22,83	117,51	13,36
1,65	70,07	618,39	27,02	27,03	129,47	14,72
1,65	91,54	567,07	31,85	27,29	122,12	11,57
3,30	70,41	644,36	27,70	11,16	153,99	14,59
3,30	74,78	691,54	32,13	20,94	131,32	14,93
3,30	63,15	582,07	19,91	17,09	120,32	13,68
3,30	64,73	659,21	20,43	17,32	141,96	13,45
4,95	57,14	747,14	28,53	29,85	213,52	17,34
4,95	40,95	599,81	22,47	20,99	141,96	16,14
4,95	59,95	878,07	40,06	31,30	168,70	19,18
4,95	48,90	580,48	17,57	19,99	143,63	16,33
6,6	32,67	890,46	25,58	22,49	258,52	18,37
6,6	26,68	545,29	18,93	17,02	188,89	15,34
6,6	33,94	606,84	29,93	26,17	176,97	20,12
6,6	25,08	869,24	26,65	27,44	205,73	23,39
8,25	34,94	665,85	42,91	34,32	105,23	19,94
8,25	29,23	553,73	29,71	18,05	52,42	14,9
8,25	29,24	506,19	20,28	18,34	75,15	14,24
8,25	26,51	563,29	25,97	18,26	113,22	16,09
NPK	76,30	793,35	32,69	31,47	201,91	19,13
NPK	74,99	769,14	31,29	34,18	193,24	21,97
NPK	71,96	650,88	30,73	32,47	189,81	21,58
NPK	85,04	619,63	30,87	34,12	175,98	25,01

Apêndice H - Análise de variância dos dados de química do solo no cultivo de milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

pH					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	15,79	3,16	915,08	0,000000
RESIDUO	18	0,06	0,00	-	-
TOTAL	23	15,85	-	-	-
C orgânico (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,17	0,03	3,14	0,032700
RESIDUO	18	0,19	0,01	-	-
TOTAL	23	0,36	-	-	-
N total (g kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,02	0,00	0,56	0,730000
RESIDUO	18	0,10	0,01	-	-
TOTAL	23	0,12	-	-	-
P (mg dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	5928,75	1185,75	286,17	0,000000
RESIDUO	18	74,58	4,14	-	-
TOTAL	23	6003,30	-	-	-
K (mg dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	2132,38	426,48	129,56	0,000000
RESIDUO	18	59,25	3,29	-	-
TOTAL	23	2191,63	-	-	-
Ca ($cmol_c$ dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	105,95	21,19	465,16	0,000000
RESIDUO	18	0,82	0,05	-	-
TOTAL	23	106,77	-	-	-
Mg ($cmol_c$ dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	53,35	10,67	465,57	0,000000
RESIDUO	18	0,41	0,02	-	-
TOTAL	23	53,76	-	-	-
N total - incubação (g kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,06	0,01	1,30	0,306700
RESIDUO	18	0,17	0,01	-	-
TOTAL	23	0,23	-	-	-
N mineral - incubação (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	10922,04	2184,41	91,23	0,000000
RESIDUO	18	430,97	23,94	-	-
TOTAL	23	11353,01	-	-	-

Apêndice I - Análise de variância dos dados de microbiologia do solo no cultivo de milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

C microbiano (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	60160,74	12032,15	415,97	0,000000
RESIDUO	18	520,66	28,93	-	-
TOTAL	23	60681,40	-	-	-
N microbiano (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	70,09	14,02	25,11	0,000158
RESIDUO	18	10,05	0,56	-	-
TOTAL	23	80,14	-	-	-
C mic / N mic (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	1021,21	204,24	29,19	0,000049
RESIDUO	18	125,97	7,00	-	-
TOTAL	23	1147,18	-	-	-
COT / NT (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	7,24	1,45	1,66	0,196200
RESIDUO	18	15,75	0,87	-	-
TOTAL	23	22,99	-	-	-
C mic / COT (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	1,37	0,27	274,77	0,000000
RESIDUO	18	0,02	0,00	-	-
TOTAL	23	1,38	-	-	-
N mic / NT (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,39	0,08	11,06	0,054960
RESIDUO	18	0,13	0,01	-	-
TOTAL	23	0,51	-	-	-
C-CO_2 (mg C-CO_2 100g $solo^{-1}$)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	25295,68	5059,14	662,52	0,000000
RESIDUO	18	137,45	7,64	-	-
TOTAL	23	25433,13	-	-	-
qCO_2					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	2,25	0,45	115,61	0,000000
RESIDUO	18	0,07	0,00	-	-
TOTAL	23	2,32	-	-	-
C biodegradado (mg 100g $solo^{-1}$)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	56915,27	11383,05	662,52	0,000000
RESIDUO	18	309,27	17,18	-	-
TOTAL	23	57224,54	-	-	-
Taxa de biodegradação (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	4	13451,30	3362,82	897,18	0,000000
RESIDUO	15	56,22	3,75	-	-
TOTAL	19	13507,52	-	-	-

Apêndice J - Análise de variância dos dados de tecido vegetal de plantas de milho em Planossolo com doses de lodo de laticínio.

Matéria Seca (g)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	7160,83	1432,17	18,26	0,001728
RESIDUO	18	1411,72	78,43	-	-
TOTAL	23	8572,55	-	-	-
Absorção de N (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	664535,62	132907,10	8,91	0,000213
RESIDUO	18	268384,50	14910,25	-	-
TOTAL	23	932920,11	-	-	-
Absorção de P (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	6858,99	1371,80	5,49	0,003068
RESIDUO	18	4501,28	250,07	-	-
TOTAL	23	11360,27	-	-	-
Absorção de K (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	8573864,90	1714773,00	22,53	0,000362
RESIDUO	18	1370225,70	76123,65	-	-
TOTAL	23	9944090,70	-	-	-
Absorção de Ca (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	72985,91	14597,18	15,01	0,007039
RESIDUO	18	17510,13	972,79	-	-
TOTAL	23	90496,04	-	-	-
Absorção de Mg (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	145452,59	29090,52	10,31	0,086340
RESIDUO	18	50786,88	2821,49	-	-
TOTAL	23	196239,46	-	-	-

Apêndice K - Análise de variância dos dados de química do solo após o cultivo de aveia preta sob residual de doses de lodo de laticínio.

pH					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	14,12	2,82	549,68	0,000000
RESIDUO	18	0,09	0,01	-	-
TOTAL	23	14,22	-	-	-
C orgânico (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,39	0,08	6,65	0,001132
RESIDUO	18	0,21	0,01	-	-
TOTAL	23	0,59	-	-	-
N total (g kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,21	0,04	0,80	0,565300
RESIDUO	18	0,95	0,05	-	-
TOTAL	23	1,16	-	-	-
P (mg dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	4895,11	979,02	88,50	0,000000
RESIDUO	18	199,13	11,06	-	-
TOTAL	23	5094,24	-	-	-
K (mg dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	210,71	42,14	7,49	0,000588
RESIDUO	18	101,25	5,63	-	-
TOTAL	23	311,96	-	-	-
Ca ($cmol_c$ dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	64,25	12,85	98,32	0,000000
RESIDUO	18	2,35	0,13	-	-
TOTAL	23	66,60	-	-	-
Mg ($cmol_c$ dm^{-3})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	42,94	8,59	158,97	0,000000
RESIDUO	18	0,97	0,05	-	-
TOTAL	23	43,92	-	-	-

Apêndice L - Análise de variância dos dados de microbiologia do solo no cultivo de aveia preta sob residual de doses de lodo de laticínio.

C microbiano (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	48403,59	9680,72	208,98	0,000000
RESIDUO	18	833,83	46,32	-	-
TOTAL	23	49237,42	-	-	-
N microbiano (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	164,97	32,99	40,08	0,000004
RESIDUO	18	14,82	0,82	-	-
TOTAL	23	179,78	-	-	-
C mic / N mic (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	7076,94	1415,39	44,16	0,000002
RESIDUO	18	576,99	32,05	-	-
TOTAL	23	7653,92	-	-	-
COT / NT (mg kg^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	30,06	6,01	2,92	0,042230
RESIDUO	18	37,09	2,06	-	-
TOTAL	23	67,15	-	-	-
C mic / COT (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	3,25	0,65	80,07	0,000000
RESIDUO	18	0,15	0,01	-	-
TOTAL	23	3,39	-	-	-
N mic / NT (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,85	0,17	17,76	0,002114
RESIDUO	18	0,17	0,01	-	-
TOTAL	23	1,02	-	-	-
C-CO_2 (mg C-CO_2 100g $solo^{-1}$)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	1466,65	293,33	59,49	0,000000
RESIDUO	18	88,76	4,93	-	-
TOTAL	23	1555,41	-	-	-
qCO_2					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	0,13	0,03	6,98	0,000869
RESIDUO	18	0,07	0,00	-	-
TOTAL	23	0,20	-	-	-
C biodegradado (mg 100g $solo^{-1}$)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	4426,95	885,39	319,56	0,000000
RESIDUO	18	49,87	2,77	-	-
TOTAL	23	4476,82	-	-	-
Taxa de biodegradação (%)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	4	1294,26	323,57	471,69	0,000000
RESIDUO	15	10,29	0,69	-	-
TOTAL	19	1304,55	-	-	-

Apêndice M - Análise de variância dos dados de tecido vegetal de plantas de aveia preta sob residual de doses de lodo de laticínio.

Matéria Seca (g)					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSES	5	346,30	69,26	14,72	0,000008
RESIDUO	18	84,72	4,71	-	-
TOTAL	23	431,02	-	-	-
Absorção de N (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSE	5	35326,36	7065,27	5,63	0,002707
RESIDUO	18	22605,97	1255,89	-	-
TOTAL	23	57932,34	-	-	-
Absorção de P (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSE	5	13258,44	2651,69	64,52	0,000000
RESIDUO	18	739,73	41,10	-	-
TOTAL	23	13998,18	-	-	-
Absorção de K (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSE	5	870346,07	174069,20	17,28	0,002581
RESIDUO	18	181337,80	10074,32	-	-
TOTAL	23	1051683,90	-	-	-
Absorção de Ca (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSE	5	1858,61	371,72	8,91	0,000214
RESIDUO	18	751,29	41,74	-	-
TOTAL	23	2609,90	-	-	-
Absorção de Mg (mg vaso^{-1})					
Fontes	**GL**	**SQ**	**QM**	**F**	**p**
DOSE	5	936,59	187,32	7,65	0,000523
RESIDUO	18	440,94	24,50	-	-
TOTAL	23	1377,54	-	-	-

Apêndice N – Média geral, coeficiente de variação e desvio padrão das variáveis analisadas nos cultivos de milho e aveia preta em Planossolo sob doses de lodo de laticínio.

Variável	Média Geral	Coef. de Variação	Desvio Padrão
Química do Solo - cultivo milho			
pH	6,31	0,93	0,06
C org	2,00	5,16	0,10
N	1,44	5,25	0,08
P	29,70	6,85	2,04
K	40,38	4,49	1,81
Ca	5,42	3,94	0,21
Mg	4,58	3,31	0,15
N tot incub.	1,69	5,73	0,10
N min incub.	98,29	4,98	4,89
Microbiologia do Solo - cultivo milho			
Cmic	158,02	3,40	5,38
Nmic	9,56	7,82	0,75
Cmic/Nmic	17,46	15,16	2,65
COT/NT	13,86	6,75	0,94
Cmic/COT	0,77	4,11	0,03
Nmic/NT	0,69	12,04	0,08
$C\text{-}CO_2$	207,13	1,33	2,76
qCO_2	1,39	4,48	0,06
C biodegradado	310,69	1,33	4,15
Taxa de biodeg.	44,94	4,31	1,94
Tecido vegetal - cultivo milho			
MS	53,89	16,43	8,86
N	703,21	17,36	122,11
P	70,33	22,48	15,81
K	1.715,82	16,08	275,91
Ca	163,12	19,12	31,19
Mg	290,66	18,27	53,12
Química do Solo - cultivo aveia preta			
pH	5,96	1,20	0,07
C org	1,53	7,06	0,11
N	1,66	13,84	0,23
P	27,79	11,97	3,33
K	19,79	11,98	2,37
Ca	4,45	8,13	0,36
Mg	3,94	5,90	0,23
Microbiologia do Solo - cultivo aveia preta			
Cmic	156,17	4,36	6,81
Nmic	8,32	10,90	0,91
Cmic/Nmic	24,13	23,47	5,66
COT/NT	9,36	15,33	1,44
Cmic/COT	1,05	8,59	0,09
Nmic/NT	0,52	18,91	0,10
$C\text{-}CO_2$	36,57	6,07	2,22
qCO_2	0,22	27,30	0,06
C biodegradado	54,70	3,04	1,66
Taxa de biodeg.	8,70	9,52	0,83
Tecido vegetal - cultivo aveia preta			
MS	14,57	14,89	2,17
N	140,29	25,26	35,44
P	44,38	14,45	6,41
K	563,54	17,81	100,37
Ca	23,14	27,92	6,46
Mg	20,16	24,55	4,95