

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANNA PAOLA TONELLO

Impacto de aplicação do lodo de indústria de gelatina em colunas de solo e no
percolado

Maringá
2014

ANNA PAOLA TONELLO

Impacto de aplicação do lodo de indústria de gelatina em colunas de solo
e no percolado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, com o requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas

Maringá
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

T664i Tonello, Anna Paola
Impacto de aplicação do lodo de indústria de gelatina em colunas de solo e no percolado / Anna Paola Tonello. -- Maringá, 2014.
xiii, 80 f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2014.

1. Fertilidade do solo. 2. Solos - Nutrientes. 3. Solos - Resíduos orgânicos. 4. Resíduos orgânicos - Reaproveitamento. I. Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 21.ed. 631.422

FICHA DE APROVAÇÃO

ANNA PAOLA TONELLO

Impacto de aplicação do lodo de indústria de gelatina em colunas de solo e no percolado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Paulo Sergio Lourenço de Freitas
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Altair Bertonha
Universidade Estadual de Maringá

Prof^ª. Dr^ª. Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Local da defesa: Bloco 5 – Sala 01

Data: 21 de Fevereiro de 2014

DEDICATÓRIA(S)

Dedico a Deus, pela Vida.

Dedico aos meus Pais e a todos
aqueles que contribuíram para
sua realização

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e saúde que Ele me concedeu durante esses anos da minha vida, para vencer obstáculos e presenciar muitas alegrias.

À CAPES – Coordenadoria de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior, pela concessão da bolsa.

A Universidade Estadual de Maringá, ao Departamento de Agronomia e ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À minha família, meu pai Reginaldo Tonello, minha mãe M^a de Fátima V. Tonello e minha irmã TATÃO que sempre estiveram apoiando, incentivando-me, principalmente nesta etapa tão importante.

Ao Helizeu pelo companheirismo e paciência durante esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas pela ótima orientação, nos conhecimentos adquiridos, na paciência nos dias tristes e alegres.

Aos meus Professores, funcionários e colegas do Centro Técnico de Irrigação e do PGA pelo apoio e ajuda durante mais uma fase da minha vida.

Ao Professor Altair Bertonha pelo apoio e ajuda antes, durante e depois da defesa.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Impacto de aplicação do lodo de indústria de gelatina em colunas de solo e no percolado

RESUMO

A reutilização de águas de indústrias alimentícias de origem animal e vegetal, como fonte de água, nutrientes e matéria orgânica para o solo e plantas é uma prática tradicionalmente empregada na agricultura e deve ser tratado analogamente à fertirrigação. Contudo, altas taxas de aplicação podem levar ao acúmulo de elementos como sódio no solo, e gerar impactos no ambiente. Diante desta problemática, este trabalho tem como objetivos avaliar o efeito da aplicação das doses crescentes de lodo de indústria de gelatina (LIG) sobre: atributos químicos do solo e no percolado e resposta das plantas de milho. Conduziu-se experimento em casa de vegetação, em colunas com Nitossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho, o experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As doses aplicadas de lodo de indústria de gelatina foram 0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹. A coleta do percolado foi realizada em três datas. Após duas semanas da aplicação do lodo, foram semeadas plantas de milho (*Zea mays* L.). Concluiu-se que o pH, o carbono e as concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ no solo diminuíram no Latossolo em relação ao Nitossolo com o aumento das doses do LIG. O teor de P no solo aumentou com aumento das taxas de LIG, principalmente nas camadas superficiais. A condutividade elétrica (CE) no solo e no percolado aumentara com a aplicação das doses, no entanto o Latossolo apresentou CE menor, devido a maior perda de ânions. A concentração do Na no solo e no percolado aumentou com a aplicação do LIG. O pH aumentou ao longo das coletas e as concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ no percolado aumentaram com aplicação das doses do LIG. O índice de área foliar diminuiu conforme o aumento das doses e a matéria seca foi maior no Latossolo. A razão de adsorção de sódio foi classificada para os dois solos como salinidade baixa.

Palavras-chave: Fertilidade. Nutriente. Resíduo Orgânico.

Impact of sludge application gelatin industry in soil and leachate from soil cultivated with maize

ABSTRACT

The reuse of water from food industries of animal and vegetable origin, as a source of water, nutrients and organic matter to the soil and plants is a practice traditionally employed in agriculture and should be treated analogously to the fertigation. However, high application rates can lead to accumulation of elements such as sodium in the soil, and generate impacts on the environment. Given this problem, this work aims to evaluate the effect of application of increasing doses of sludge on gelatin industry (LIG): chemical soil and leachate and response of corn plants. Experiment was conducted in a greenhouse in columns with Distroferric Alfisol and Oxisol, the experiment was arranged in a completely randomized design with three replicates. The doses of sludge industry gelatin were 0, 150, 300, 450 and 600 m³ ha⁻¹. The collection of the leachate was carried out on three dates. After two weeks of applying sludge on maize (*Zea mays* L.) were sown. Concluded that pH, and carbon concentrations of Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ in the soil decreased in relation to the Latossolo Nitosol with increasing doses of the LIG. The phosphorus content in the soil increased as the high rates of LIG, especially in the superficial layers. The electrical conductivity (CE) in soil and leachate increased with herbicide application, however the Oxisol showed lower CE, due to greater loss of anions. The concentration of Na in the soil and in the leachate increased with the application of LIG. The pH increased during the experimental period and the concentrations of Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ in the leachate increased with application of doses of LIG. The leaf area index decrease with increasing doses and dry matter was higher in the Oxisol. The sodium adsorption ratio was classified for the two soils as low salinity.

Keywords: Fertility. Nutrient. Organic waste

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Granulometria média do NVdf e LVd das camadas de 0,0 a 0,20 m.	6
Tabela 2. Análise química inicial do Latossolo.....	6
Tabela 3. Análise química inicial do Nitossolo.....	7
Tabela 4. Caracterização química do lodo da indústria de gelatina	8
Tabela 5. Análise de variância dos valores do pH do solo sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	11
Tabela 6. Valores médios de pH no extrato aquoso do solo.	12
Tabela 7. Análise de variância do desdobramento do solo e camada referente ao pH no solo	13
Tabela 8. Valores médios de pH do solo nas diferentes camadas.	13
Tabela 9. Análise de variância para o cálcio no solo, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.....	14
Tabela 10. Valores médios de Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas diferentes camadas.	14
Tabela 11. Análise de variância do desdobramento solo e camada referente ao cálcio no solo	15
Tabela 12. Valores médios de Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas diferentes camadas.	15
Tabela 13. Análise de variância para o magnésio, sob aplicação de LIG. Maringá-PR.....	16
Tabela 14. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.	17
Tabela 15. Valores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para os solos nas diferentes camadas e doses.	18
Tabela 16. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses.....	19
Tabela 17. Valores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para as camadas para os diferentes solos e doses.	20
Tabela 18. Análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as camadas.	20
Tabela 19. Análise de variância para o potássio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.....	21
Tabela 20. Valores médios de K^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo sob aplicação de LIG. Maringá-PR.	21
Tabela 21. Análise de variância do desdobramento do solo para diferentes camadas.	22
Tabela 22. Valores médios de K^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para o LVd e o NVdf nas diferentes camadas.	23
Tabela 23. Análise de variância para o alumínio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.....	23

Tabela 24. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.	24
Tabela 25. Valores médios de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para os solos nas diferentes camadas e doses.	25
Tabela 26. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e doses.	26
Tabela 27. Valores médios de alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para as camadas nos diferentes solos e doses.	26
Tabela 28. Análise de variância do desdobramento das doses de LIG para os diferentes solos e camadas.	27
Tabela 29. Análise de variância dos valores de sódio do solo sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	27
Tabela 30. Valores médios de sódio em diferentes camadas, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	28
Tabela 31. Análise de variância do desdobramento das camadas para as diferentes doses.	29
Tabela 32. Valores médios de sódio nas camadas para as diferentes doses.	29
Tabela 33. Análise de variância do desdobramento das doses de LIG nas diferentes camadas.	30
Tabela 34. Análise de variância referente ao carbono.	31
Tabela 35. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.	31
Tabela 36. Valores médios de carbono (g dm^{-3}) para os solos nas diferentes camadas e doses.	32
Tabela 37. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses.	33
Tabela 38. Valores médios de carbono (g dm^{-3}) para as camadas nos diferentes solos e doses.	34
Tabela 39. Análise de variância do desdobramento das doses para os diferentes solos e camadas.	34
Tabela 40. Análise de variância para a condutividade.	35
Tabela 41. Análise de variância do desdobramento dos solos com as camadas.	36
Tabela 42. Valores médios de CE nos solos nas diferentes camadas.	36
Tabela 43. Análise de variância do fósforo no solo, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	37

Tabela 44. Análise de variância de desdobramento do solo com as camadas e as doses.....	38
Tabela 45. Valores médios de fósforo (g dm^{-3}) nos solos nas diferentes camadas e dose, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	39
Tabela 46. Análise de variância do desdobramento das camadas em relação aos solos e as doses.	40
Tabela 47. Valores médios de fósforo (g dm^{-3}) para as camadas em relação aos solos e as doses.	40
Tabela 48. Análise de variância do desdobramento das doses referente aos solos e as camadas.	42
Tabela 49. Análise de variância para o pH no percolado sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	42
Tabela 50. Análise de variância para o Cálcio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR	43
Tabela 51. Análise da variância no desdobramento do solo nas diferentes coletas e doses.....	44
Tabela 52. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) nos solos nos diferentes coletas e doses, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.....	45
Tabela 53. Análise de variância do desdobramento dos dias coletados em relação aos solos e as doses.....	46
Tabela 54. Valores médios da concentração de cálcio (mg L^{-1}) no percolado nas diferentes datas.....	46
Tabela 55. Análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas	47
Tabela 56. Análise de variância para o magnésio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.....	49
Tabela 57. Análise de variância do desdobramento do solo em relação a coleta e doses.	49
Tabela 58. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) no percolado nos solos nas diferentes coletas e doses.	50
Tabela 59. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.	51
Tabela 60. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) no percolado nas coletas em relação ao solo e as doses.	51
Tabela 61. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas.	52
Tabela 62. Análise de variância para o potássio sob aplicação de LIG, Maringá – PR.	53
Tabela 63. Análise de variância do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses..	54

Tabela 64. Valores médios de K^+ ($mg L^{-1}$) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses.	54
Tabela 65. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.	55
Tabela 66. Valores médios de K^+ ($mg L^{-1}$) no percolado referente as coletas em relação ao solo e as doses.	55
Tabela 67. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas.	56
Tabela 68. Análise de variância para o sódio no percolado sob aplicação de LIG, Maringá-PR.	59
Tabela 69. Análise de variância do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses..	59
Tabela 70. Valores médios de sódio ($mg L^{-1}$) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses	60
Tabela 71. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.	60
Tabela 72. Valores médios de sódio ($mg L^{-1}$) no percolado referente as coletas em relação ao solo e as doses.	61
Tabela 73. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas	61
Tabela 74. Análise de variância para a condutividade elétrica, sob aplicação de LIG. Maringá-PR.....	63
Tabela 75. Análise de variâncias do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses.	64
Tabela 76. Valores médios de CE ($\mu S cm^{-1}$) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses.	65
Tabela 77. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.	65
Tabela 78. Valores médios de CE ($\mu S cm^{-1}$) no percolado referente nas coletas em relação ao solo e as doses.	66
Tabela 79. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e às coletas.	66
Tabela 80. Análise de variância para o IAF do milho sob aplicação LIG, Maringá-PR.	69
Tabela 81. Análise de variância para a MS de milho cultivado com LIG. Maringá-PR.	70

Tabela 82. Razão de adsorção de sódio no Latossolo Vermelho ($\text{cmlo}_c \text{ dm}^{-3}$) cultivado com milho sob aplicação de LIG.....	71
Tabela 83. Razão de adsorção de sódio no NVdf ($\text{cmlo}_c \text{ dm}^{-3}$).....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores médios de pH no extrato aquoso do solo de acordo com as diferentes doses.	12
Figura 2. Valores médios de sódio em relação as dose crescente de LIG.	28
Figura 3. Valores médios de sódio para a camada de 0,60 – 0,80 m.....	30
Figura 4. Valores médios de condutividade elétrica nas doses crescentes do LIG.	35
Figura 5. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no LVd em 40 DAS..	47
Figura 6. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.	48
Figura 7. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS.....	52
Figura 8. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no Nitossolo em 60 DAS.	53
Figura 9. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolado referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS.....	57
Figura 10. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolado referente aos tratamentos no Latossolo em 60 DAS.....	58
Figura 11. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolado referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.	58
Figura 12. Valores médios de sódio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos do Latossolo em 60 DAS.	62
Figura 13. Valores médios de sódio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.	63
Figura 14. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS.....	67
Figura 15. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no Latossolo em 60 DAS.....	67
Figura 16. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.	68
Figura 17. Valores médios de IAF em relação as doses aplicadas	69

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.2 Resíduo líquido vegetal e animal no solo.....	2
2.3 Efeitos da aplicação do LIG no solo.....	4
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Solo.....	6
3.2 Lodo e sua caracterização.....	7
3.3 Preparo e implantação das colunas.....	8
3.4 Avaliação das alterações químicas ocorrida no solo.....	9
3.5 Avaliação do percolado nas colunas de solo.....	9
3.6 Análises estatísticas dos dados.....	9
3.7 Índice de área foliar (IAF) e de matéria seca (MS).....	10
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	11
4.1 Análise do solo.....	11
4.1.1 pH.....	11
4.1.2 Cálcio.....	14
4.1.3 Magnésio.....	16
4.1.4 Potássio.....	21
4.1.5 Alumínio.....	23
4.1.6 Sódio.....	27
4.1.7 Carbono.....	31
4.1.8 Condutividade elétrica.....	35
4.1.9 Fósforo.....	37
4.2 Análises do percolado.....	42
4.2.1 pH.....	42

4.2.2 Cálcio.....	43
4.2.3 Magnésio	48
4.2.4 Potássio.....	53
4.2.5 Sódio.....	59
4.2.6 Condutividade elétrica.....	63
4.2.7 Fósforo e Nitrogênio.....	68
4.3 Índice de área foliar (IAF) e matéria seca (MS).....	69
4.4 Razão de adsorção de sódio (RAS) no solo e no percolado	70
5 CONCLUSÕES	73
6 REFERÊNCIAS	74

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano e as atividades industriais e agropecuárias geram cada vez mais resíduos líquidos e sólidos, que resulta maior impacto ambiental. O grande desafio é estabelecer formas sustentáveis de descarte e reaproveitamento, a fim de garantir a preservação do meio ambiente. O lançamento desses resíduos líquidos, tratados ou não, em corpos hídricos não é a solução adequada. Uma das soluções promissora para reduzir esse impacto ambiental seria a disposição em solos agrícolas, reaproveitando os nutrientes, tornando assim um sistema sustentável, podendo reduzir aplicação de fertilizantes em determinadas áreas agrícolas. No entanto, o uso desses resíduos na agricultura deve ser baseado em critérios técnicos, no sentido de minimizar potenciais prejuízos ao meio ambiente.

A gelatina, utilizada para fins alimentícios, cosméticos, farmacêuticos e fotográficos é produzida através da hidrólise controlada do colágeno de peles e ossos de animais. No processo de industrialização da gelatina é gerado resíduo líquido, também chamado de lodo, que devido as suas composições químicas possibilitam a utilização em solos agrícolas como fonte de nutrientes para as plantas, principalmente o sódio, sem riscos de contaminação por metais pesados.

O estudo da utilização do LIG em solos agrícolas é necessário, visando à determinação de doses e frequência de aplicações adequadas, evitando com isto os riscos de poluição ambiental e propiciando maior benefício agrônômico às culturas. Entretanto, a elevada concentração de sódio no lodo de indústria de gelatina pode levar ao acúmulo destes elementos no solo e gerar sérios impactos no meio ambiente, sobretudo em casos de altas taxas de aplicação.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de LIG em Nitossolo Vermelho distroférrico (NVdf) e Latossolo Vermelho (LV), sobre a: i) alterações químicas ocorridas no solo; ii) a percolação de nutrientes; iii) a composição do percolado em diferentes períodos de chuva como impacto ambiental em águas subterrâneas; e iv) a resposta da planta do milho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, a intensificação das atividades agroindustriais devido ao aumento da produção e do nível tecnológico provoca o aumento da produção e da geração de resíduos. Podendo destacar os resíduos líquidos orgânicos de origem vegetal e animal, como: a vinhaça, a manipueira, o lodo de curtume, o lodo de indústria de gelatina, o lodo esgoto doméstico, entre outros. No entanto, o descarte incorreto desses resíduos podem causar impactos negativos ao ambiente, devido alguns produtos químicos e metais que podem ameaçar o ciclo natural do ambiente (GUIMARÃES et al., 2012).

Segundo a NBR 10.004 de 2004, os resíduos podem ser considerados “lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles que são gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidade torna inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

2.2 Resíduo líquido vegetal e animal no solo

Os resíduos orgânicos podem ser utilizados como fontes de nutrientes para as plantas e para a melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos, desde que apresentem elementos potencialmente tóxicos, metais pesados e microrganismos patogênicos dentro dos limites estabelecidos na legislação (TANIGUCHI, 2010). Além da presença de componentes prejudiciais às plantas e ao meio ambiente, outra limitação ao uso no solo é a composição química dos resíduos orgânicos, que podem apresentar alterações químicas e biológicas causadas pela aplicação de água residuária, podendo aumentar ou diminuir a capacidade de troca catiônica (CTC), podendo ou não atuar na recuperação nutricional dos solos agrícolas, em contrapartida podem causar dispersão das argilas, desequilíbrio nutricional nas plantas, lixiviação de íons móveis como o K^+ e contaminação dos corpos de águas superficiais e subterrâneos (SILVA, 2008). Segundo Bertoncini (2008) faltam estudos que evidenciem quais as taxas seguras de aplicação para cada cultura e quais os reais danos que cada contaminante pode ocasionar ao sistema solo-água-planta, para o estabelecimento de critérios técnicos de reutilização, muitas vezes inexistentes.

De acordo com Guimarães et al. (2012) a aplicação de resíduos orgânicos em solos tem por objetivos aumentar ou manter o teor de matéria orgânica do solo e fornecer nutrientes às plantas de forma imediata: durante o processo simples que podem retornar à atmosfera na forma de gás (CO₂, NH₃, etc.); ser imobilizados pelos microrganismos decompositores; permanecer na forma prontamente disponível para as plantas, ou ser perdidos por lixiviação; e em longo prazo: uma vez incorporado à matéria orgânica estável do solo o nutriente poderá ser mineralizado, obedecendo às taxas de degradação da matéria orgânica.

De acordo com Gheri (2002), a aplicação de soro ácido de leite num solo argissolo não obteve efeito no teor de matéria orgânica, mesmo se tratando de aplicação de resíduos orgânicos. A explicação para este fato é a baixa relação C/N do lodo, que quando adicionado ao solo, estimula os microrganismos a mineralizarem parte do carbono da matéria orgânica do solo. Resultados semelhantes já foram encontrados em solos tratados com outros resíduos com baixa relação C/N, como o dejetos líquido de suínos e o lodo de curtume (PLAZA et al., 2004; MARTINES et al. , 2006).

A fertirrigação com águas residuárias da suinocultura, vem sendo muito difundida no Brasil, principalmente na região sul do país, entretanto, o alto potencial poluidor dos dejetos pode tornar uma ameaça de contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas se utilizadas em quantidades excessivas (MAGGI et al., 2013).

Segundo Maggi et al. (2011) a utilização de diferentes doses de água residuária de suinocultura (ARS) e adubações durante um ciclo da soja, em Latossolo Vermelho Distroférico típico, resultou no aumento de macronutrientes (N, P e K) no solo e no percolado o aumento foi significativo para K, P e nitrato conforme o aumento das doses de ARS. A produtividade da soja não foi influenciada pela aplicação de ARS e pela adubação.

Vieira et al. (2011) afirmaram que o resíduo líquido do processo de parbolização do arroz apresenta alta quantidade de elementos como N e P, que uma vez incorporados ao solo, poderão servir como fonte de nutrientes. Portanto, a adição de lodo anaeróbico originado do processo de parbolização do arroz e adubação de NPK na cultura do milho, resulta no aumento do rendimento de matéria seca do milho, assim como os valores de pH, condutividade elétrica e os teores de N, P, K e Na do solo. As doses de lodo aumentaram também os teores de N, P, K e diminuíram os teores de Ca e Mg na parte aérea do milho.

O efeito da incorporação de lodo de esgoto no solo depende do tipo do lodo aplicado, das características químicas e físicas do solo, das condições climáticas, da cultura e da frequência das aplicações. As propriedades físicas do solo tende a modificar com a

incorporação do lodo tanto o diâmetro como a quantidade dos agregados estáveis em água, diminuindo a densidade e aumentando a capacidade de retenção de água no solo. Observa-se o aumento na biomassa radicular com reflexo direto na fitomassa aérea das plantas (TSADILAS et al., 2005; DE MARIA et al., 2007).

Comilotti et al. (2006) verificaram que aplicações de lodo de esgoto podem melhorar a condições física de solos canavieiros, que estão sujeitos à degradação provocada por determinados implementos. Porém cabe ressaltar que a aplicação do lodo de esgoto tem a finalidade agrônômica de melhorar a estruturas do solo, que por sua vez pode ser antieconômico. Entretanto, minimizam-se os riscos econômicos quando o lodo é aplicado para fornecer nutrientes às culturas.

2.3 Efeitos da aplicação do LIG no solo

Da mesma forma que acontece nos processos naturais de autodepuração dos corpos hídricos, os resíduos agroindustriais, quando lançado no solo, têm sua carga poluidora diminuída por processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no solo (PAGANINI, 2003). Tais processos acontecem porque o solo possui quatro propriedades extremamente importantes para a utilização desses resíduos, as quais são: *capacidade de troca iônica*: representa a quantidade total de cátions e ânions que são absorvidos por unidade de peso do solo. É importante ressaltar que a capacidade de troca iônica de um solo pode proporcionar maior ou menor retenção de íons metálicos trazidos pelos resíduos agroindustriais; *capacidade tampão*: essa característica decorre de diversos fatores. Solos carbonatos tamponados para um pH maior ou igual a 7,0 inibem a solubilidade dos metais pesados; *filtrabilidade do solo*: refere-se a sua eficiência como filtro (físico) de partículas em suspensão. Solos permeáveis de textura intermediária possuem um conteúdo coloidal suficiente para aprisionar ou reter partículas, e constituem-se nos melhores filtros; *microbiologia do solo*: após a disposição do resíduo líquido no solo, ocorrem várias transformações microbiológicas (OLIVEIRA, 2012).

A aplicação do LIG em solos promove benefícios à fertilidade do solo, como a correção da acidez e o aumento dos teores de N, P, Ca e Mg, favorecendo o crescimento das plantas. Apesar da elevada concentração de sódio no lodo, os teores desse elemento nos solos em que foi aplicado o resíduo estão dentro do limite de tolerância, mesmo em altas taxas de

aplicação, e pode ou não comprometer a qualidade do solo e o crescimento das culturas (ARAÚJO, 2006; GUIMARÃES, 2009; TANIGUCHI, 2010).

Araújo (2006) avaliou o uso agrícola do lodo de indústria de gelatina no solo aplicando doses equivalentes a 0, 30, 60, 90 e 120 t ha⁻¹. Os principais efeitos observados na fertilidade do solo foram a correção da acidez e o aumento dos teores de N, P, Ca e Mg, o que favoreceu o crescimento de plantas de capim-Tanzânia. No lodo, a principal limitação de uso é a concentração de sódio, mas a conclusão do autor foi que com a maior dose avaliada não houve comprometimento da qualidade do solo nem prejuízo para o crescimento do capim. No entanto, a aplicação de LIG no solo apresentou que o lodo do decantador primário de indústria de gelatina não obteve efeito na matéria orgânica do solo.

Segundo Guimarães et al. (2012), o efeito do lodo biológico de indústria de gelatina em diferentes solos e doses crescentes resultado de 120 dias de incubação, aumentou no valor do pH, a CTC efetiva, os teores de P, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e N-inorgânico e diminuiu os teores de Al³⁺ e H⁺ + Al³⁺ e não alterou os teores de matéria orgânica dos solos. Portanto, houve aumento no acúmulo de sais em solução, devido à elevada concentração de Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, porém, como consequência poderá haver perdas por lixiviação.

O potencial do lodo biológico de indústria de gelatina em fornecer nitrogênio para as plantas de milho pode ser elevado, pois a fabricação de gelatina pode gerar resíduo com elevada concentração de nitrogênio, que por sua vez é de grande interesse para o uso agrícola. Assim, Taniguchi (2010), em experimentos em laboratório, em campo e em casa de vegetação concluiu que o carbono e o nitrogênio orgânico do lodo biológico de indústria de gelatina foram rapidamente mineralizado no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Cento Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), a localização geográfica está definida pelas coordenadas 23°23'58" S e 51°57'06" W. Foi arranjado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com dois solos (Nitossolo Vermelho Distroférico - NVdf e Latossolo Vermelho distrófico - LVd) e cinco doses diferentes do lodo, com três repetições por tratamento.

3.1 Solo

O NVdf foi coletado no Centro Técnico de Irrigação (CTI) e o LVd foi coletado na Fazenda Experimental (23°21'04" S e 52°04'25" W), ambos os lugares são áreas da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Portanto, na Tabela 1 apresenta os valores das características granulométricas dos solos. Nas Tabelas 2 e 3 apresentam as características químicas dos LVd e do NVdf, respectivamente.

Tabela 1. Granulometria média do NVdf e LVd das camadas de 0,0 a 0,20 m.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		%		
Nitossolo	8	15	6	71
Latossolo	36	36	3	25

Laboratório de análise de solo. Departamento de Agronomia (DAG/UEM)

Tabela 2. Análise química inicial do Latossolo.

Parâmetros	Camadas (m)					
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
pH água	5,9	6,3	6,3	5,7	5,8	5,9
pH CaCl ₂	6,3	5,8	5,8	5,2	5,3	5,4
H ⁺ + Al ³⁺	2,19	2,19	2,19	2,36	2,19	2,19
Al ³⁺	0	0	0	0	0	0
CE μS cm ⁻¹	54,8	40,11	46,58	25,14	28,33	29,3
C g dm ⁻³	7,37	6,88	8,69	6,13	5,22	5,8
P mg dm ³	33,1	33,5	40,4	5,3	2,3	4,1
Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	3,42	3,42	3,48	2,98	3,09	3,1
Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	0,39	0,42	0,36	0,27	0,45	0,42
K ⁺ cmol _c dm ⁻³	0,17	0,15	0,15	0,06	0,06	0,06
Na ⁺ cmol _c dm ⁻³	36,21	1,53	7,65	7,14	6,12	3,57

Laboratório de análise de solo. Departamento de Agronomia (DAG/UEM)

Tabela 3. Análise química inicial do Nitossolo.

Parâmetros	Camadas (m)					
	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
pH água	5,8	5,7	5,9	5,9	6	5,9
pH CaCl ₂	5,3	5,3	5,4	5,4	5,6	5,4
H ⁺ + Al ³⁺	3,42	3,42	3,42	3,42	2,94	3,17
Al ³⁺	0	0	0	0	0	0
CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	30,08	36,44	36,04	36,67	30,12	28,79
C g dm ⁻³	9,93	9,77	10,1	10,43	8,12	6,13
P mg dm ³	1,2	1,6	0,8	1,5	0,7	0,3
Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	4,51	4,41	4,51	5,12	4,73	4,24
Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	1,05	0,96	1,06	1,06	0,97	0,86
K ⁺ cmol _c dm ⁻³	0,32	0,33	0,27	0,29	0,28	0,2
Na ⁺ cmol _c dm ⁻³	47,43	3,06	3,57	2,55	2,04	7,14

Laboratório de análise de solo. Departamento de Agronomia (DAG/UEM)

3.2 Lodo e sua caracterização

Para a análise em laboratório foi coletada seguindo o método estabelecido na norma NBR 10.007 (ABNT, 2004). As amostras coletadas foram condicionadas em garrafas de 500 ml as quais foram encaminhadas para o Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos, do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Maringá (DAG/UEM), para caracterização físico-química. No laboratório, o lodo foi mantido sob refrigeração até o momento de análise.

Foram realizadas análises de pH, condutividade elétrica (CE), DQO, DBO e os seguintes teores totais: N, P, K, Ca, Mg, e Na. A determinação dos valores de pH e da CE foi realizada por meio de leitura direta das amostras, e os demais por meio das metodologias APHA, AWWA e WEF (1998) e Tedesco et al. (1995).

As características do lodo antes de serem submetidos aos tratamentos estão expressas na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química do lodo da indústria de gelatina

Parâmetros	Lodo
Temperatura	21,8 °C
pH	5,94
C.E $\mu\text{S cm}^{-1}$	14.640
DQO (mg L^{-1})	98.367
DBO (mg L^{-1})	60.000
P (mg L^{-1})	825
K ⁺ (mg L^{-1})	16
Ca ²⁺ (mg L^{-1})	2.306
Mg ²⁺ (mg L^{-1})	199
N-total (mg L^{-1})	3.944
Na ⁺ (mg L^{-1})	583

3.3 Preparo e implantação das colunas

Foram utilizadas amostras de solo (item 3.1) coletado em camadas de até a profundidade de 80 cm. Os tratamentos foram constituídos por doses crescentes de lodo de indústria de gelatina (item 3.2), equivalentes a 0, 150, 300, 450 e 600 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, antes da semeadura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições.

As colunas foram constituídas de tubos de PVC branco de 250 mm de diâmetro com 1m de altura. Em suas bases foram adaptadas telas de nylon, de malha de 1 mm e pratos de jardins, para evitar perdas de solo, na superfície interna das paredes foi aplicada cola de PVC e areia lavada para minimizar o fluxo preferencial. Após 24 horas as colunas foram então preenchidas com solo. A deposição de solo nas colunas foi de forma gradual, com camadas de 5 cm até a profundidade de 0,10 m na superfície, depois foram preenchidas com camadas de 20 cm para completar a altura de 0,80 m. Essas estruturas foram dispostas a uma distância de 0,90 m entre elas, para proporcionar um estande de 50.000 plantas por hectare. As colunas com solo foram condicionadas na casa de vegetação por dois meses, e antes da aplicação do lodo, houve a estabilização da estrutura do solo. Efetuou-se aplicação de água para manutenção da umidade do solo. Após esse período, o LIG foi aplicado na superfície do solo das colunas, sem incorporação. O lodo foi aplicado gradualmente, sendo o volume básico correspondente a 150 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, de forma que a maior dose (600 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) será equivalente a quatro aplicações de lodo. Depois de três dias após a aplicação do LIG, foi semeada o milho (*Zea mays*) para silagem AG1051. Seguido 20 dias após a semeadura (DAS) (05/09/2013) foi realizada a primeira lixiviação, ou seja, foi aplicada uma lâmina de 40 mm em cada coluna

para a coleta do percolado, para realizar as análises. Depois foram realizadas outras duas lixiviações, sendo nos 40 DAS (26/09/2013) e 60 DAS (16/10/2013) após o início a semeadura.

3.4 Avaliação das alterações químicas ocorrida no solo

Para a avaliação das alterações químicas, foram retiradas amostras de solo, antes da semeadura e após a colheita em seis camadas do perfil: 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80m. A amostragem foi realizada para cada repetição, com o objetivo de avaliar as alterações químicas ocorrida no solo com a aplicação do lodo. Após a aplicação dos tratamentos, foram realizadas análises dos seguintes parâmetros: pH, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , P, Al^{3+} e Carbono.

3.5 Avaliação do percolado nas colunas de solo

Para o percolado, foram realizadas três coletas ao longo do ciclo da cultura. Em cada ponto de coleta do percolado foi colocado um recipiente plástico com capacidade de 2 litros à medida que completou a capacidade do mesmo foi transposto em outro recipiente plástico correspondente a cada coluna de solo de forma a homogeneizar as amostras percoladas. Após, homogeneizar e quantificar o volume percolado, as amostras foram armazenadas, em frascos plásticos de 300 mL e foram determinados o pH, condutividade elétrica, nitrogênio total, potássio, magnésio, cálcio, sódio e fósforo. As metodologias utilizadas foram: APHA, AWWA & WEF (1998) e Tedesco et al. (1995).

3.6 Análises estatísticas dos dados

No experimento em colunas de solo, os resultados obtidos das análises química do solo, percolado e produção de matéria seca foram submetidas à ANOVA, considerando as doses de lodo de indústria de gelatina como fonte de variação, empregando o programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.7 Índice de área foliar (IAF) e de matéria seca (MS)

Foi avaliada nos experimentos em colunas de solo o IAF e MS da parte aérea da planta. O IAF foi realizado nos 20, 40 e 60 DAS (05/09; 26/09 e 16/10/13), sempre medindo a largura da folha e o comprimento. Para a MS foi feita a colheita da parte aérea do milho depois de 60 dias após a emergência das plantas, cortando-se as plantas de milho rente ao solo. O material vegetal foi colocado em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 65°C, até peso constante, para a obtenção da matéria seca (BATAGLIA et al., 1983).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do solo.

4.1.1 pH

Na Tabela 5 está apresentada a análise de variância dos valores médios do pH do extrato aquoso do solo, em função das doses crescentes do LIG, onde se observa que o valor F foi significativo para o solo, camadas, doses e interação do solo e a camada.

Tabela 5. Análise de variância dos valores do pH do solo sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	26,167	26,167	378,204	0,000
Camada	5	42,907	8,581	124,032	0,000
Dose	4	7,138	1,784	25,793	0,000
Solo*camada	5	18,961	3,792	54,812	0,000
Solo*dose	4	0,517	0,129	1,870	0,120
Camada*dose	20	2,279	0,113	1,647	0,052
Solo*camada*dose	20	1,684	0,084	1,218	0,252
Erro	120	8,302	0,069		

Os valores médios do pH no extrato aquoso do solo foram 5,6 e 5,4 no início do experimento e 6,54 e 5,77 ao final, respectivamente para LVd e NVdf. Esta elevação de pH, segundo Naramabuye e Haynes (2007) ocorre devido a presença de grupos fenólicos, carboxílicos e enólicos, que podem consumir prótons devido à associação do H⁺ do solo com esses ânions, provocando a elevação do pH do solo.

O valores médios do pH nas camadas está apresentada na Tabela 6, aplicou-se teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade, devido a significância da interação do solo e a camada para ambos os solos, observa-se a Tabela 8.

Tabela 6. Valores médios de pH no extrato aquoso do solo.

Camadas	pH
0,0 - 0,05	7,17 a
0,05 - 0,10	6,31 b
0,60 - 0,80	5,98 c
0,40 - 0,60	5,84 c
0,10 - 0,20	5,81 c
0,20 - 0,40	5,81 c

Letras iguais minúscula na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O pH foi influenciado pelas doses crescente como pode ser verificado na Figura 1. Com a aplicação do lodo o pH diminui, ou seja, podem ter liberado íons H^+ para a solução do solo, causando acidificação do meio.

Guimarães et al. (2012) observaram aumento no pH com a aplicação da taxa de 500 $m^3 ha^{-1}$ de lodo biológico, em relação ao tratamento sem lodo, foi o valor de 0,4 (textura argiloso), 0,8 (textura média) e 1,2 (textura arenosa).

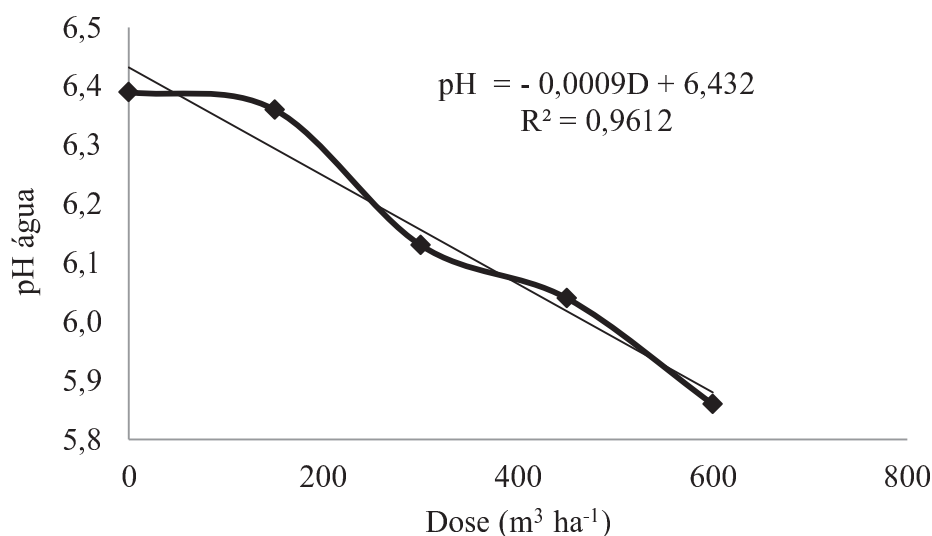


Figura 1. Valores médios de pH no extrato aquoso do solo de acordo com as diferentes doses.

Araújo (2006) ao aplicar 6 $t ha^{-1}$ (base seca) de lodo primário de indústria de gelatina no Latossolo Vermelho-Amarelo observou aumento de 12,5 no pH.

Resultados discordantes foram obtidos por Peles (2007), onde o mesmo não observou variações significativas nos valores de pH do solo para diferentes doses de dejetos líquidos de suínos (0, 30, 60 e 90 $m^3 ha^{-1}$).

Também, Duarte et al. (2008) avaliaram doses de efluente doméstico tratado e água de abastecimento público aplicado na cultura do pimentão com diferentes doses e verificaram que as doses aplicadas de água residuária não provocaram alterações significativas no pH.

Observa-se na Tabela 7 a análise de variância do desdobramento do solo e camadas referente ao pH do solo. Nota-se que, o F só não foi significativo para a camada de 0,40 – 0,60 m.

Tabela 7. Análise de variância do desdobramento do solo e camada referente ao pH no solo

FV	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	1	2,676	2,676	38,678	0,000
Solo	0,05 - 0,10	1	28,674	28,674	414,451	0,000
Solo	0,10 - 0,20	1	11,273	11,273	162,934	0,000
Solo	0,20 - 0,40	1	2,144	2,144	30,988	0,000
Solo	0,40 - 0,60	1	0,017	0,017	0,250	0,618
Solo	0,60 - 0,80	1	0,343	0,343	4,964	0,028
Erro		120	8,302	0,069		

A Tabela 8 apresenta a diferença entre os dois solos nas camadas. Observa-se que o LVd apresentou pH elevado em relação ao Nitossolo. Isso ocorreu devido a decomposição mais rápida do lodo de indústria de gelatina no Latossolo, observou há que uma menor taxa de infiltração do lodo na aplicação dos tratamentos no solo argiloso.

Tabela 8. Valores médios de pH do solo nas diferentes camadas.

Camadas	Solo	
	Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	7,47 A a	6,87 B a
0,05 - 0,10	7,29 A a	5,34 B de
0,10 - 0,20	6,42 A b	5,20 B b e
0,20 - 0,40	6,08 A c	5,54 B cd
0,40 - 0,60	5,86 A c	5,81 A bc
0,60 - 0,80	6,09 A c	5,87 B b

Letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O lodo formou uma crosta sobre a superfície do solo, reduzindo a incorporação e sua degradação como pode ser observado na Tabela 8, em que o pH na camada superficial do NVdf foi superior ao da camada 0,05-0,10 e que não ocorreu no LVd, em que o pH das camadas 0,05 -0,10 m não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade

4.1.2 Cálcio

Na Tabela 9 está apresentada a análise de variância para o nutriente cálcio no solo. É possível notar que a análise de variância foi significativa ao nível de 0,05 pelo teste F para o fator solo, camada e a interação do solo e as camadas.

Tabela 9. Análise de variância para o cálcio no solo, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	1591,1685	1591,268	1428,870	0,000
Camada	5	558,279	111,655	100,261	0,000
Dose	4	6,594	1,648	1,480	0,212
Solo*camada	5	428,671	85,734	76,984	0,000
Solo*dose	4	3,902	0,975	0,876	0,481
Camada*dose	20	31,099	1,554	1,396	0,137
Solo*camada*dose	20	20,714	1,035	0,93	0,551
Erro	120	133,638	1,113		

Os valores médios da concentração de cálcio no solo foram 3,01 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no LVd e 8,96 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no Nitossolo, apresentando diferenças estatísticas ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Os solos no início do experimento apresentavam concentrações de Ca^{2+} em média de 3,25 e 4,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para LVd e NVdf respectivamente. Portanto, o LVd diminuiu e o NVdf ocorreu o inverso, aumentou a concentração de cálcio, isso aconteceu devido ao desenvolvimento do milho no Latossolo.

Pode-se observar na Tabela 10 a diferença dos valores médios de cálcio no solo pela diferença estatística de Tukey a 5% de probabilidade, devido a significância da interação do solo e a camada para ambos os solos, observa-se a Tabela 12.

Tabela 10. Valores médios de Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) no solo nas diferentes camadas.

Camadas	Cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)
0,00 - 0,05	5,02 a
0,05 - 0,10	4,30 ab
0,10 - 0,20	3,68 b
0,20 - 0,40	6,74 c
0,40 - 0,60	7,85 d
0,60 - 0,80	8,32 d

Letras iguais na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com o F significativo para a interação do solo e camada (Tabela 11), foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 12).

Resultados obtidos corroboram com Queiroz et al., (2004), que avaliaram o efeito da intensiva aplicação de ARS nas características químicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, cultivado com quatro diferentes espécies de gramíneas forrageiras, a uma taxa de 800 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, e observaram que a aplicação de ARS proporcionou um acúmulo de P, K, Na e Zn no solo, na camada de 0-20 cm, enquanto que as concentrações de Mg²⁺ e Cu reduziram e as concentrações de Ca mantiveram-se iguais.

Tabela 11. Análise de variância do desdobramento solo e camada referente ao cálcio no solo

FV	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	1	140,313	140,313	125,994	0,000
Solo	0,05 - 0,10	1	49,228	49,228	44,205	0,000
Solo	0,10 - 0,20	1	43,947	43,947	39,462	0,000
Solo	0,20 - 0,40	1	372,416	372,416	334,409	0,000
Solo	0,40 - 0,60	1	845,139	845,139	758,888	0,000
Solo	0,60 - 0,80	1	568,893	568,893	510,834	0,000
Erro		120	133,638	1,113		

Em seguida, na Tabela 12 está apresentados a diferença dos dois solos em relação às camadas. Observa-se que o LVd apresentou valores médios inferiores ao NVdf, isso pode ter ocorrido devido ao desenvolvimento do milho no LVd, ou seja, as plantas adsoveram mais cálcio na solução do solo.

Tabela 12. Valores médios de Ca²⁺ (cmol_c dm⁻³) no solo nas diferentes camadas.

Camadas	Solo	
	Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	2,85 A ab	7,18 B c
0,05 - 0,10	3,02 A ab	5,58 B d
0,10 - 0,20	2,47 A a	4,89 B d
0,20 - 0,40	3,22 A ab	10,27 B b
0,40 - 0,60	2,54 A a	13,16 B a
0,60 - 0,80	3,97 A b	12,68 B a

Letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Guimarães et al. (2012) houve aumento linear no teor Ca²⁺, devido à composição do lodo biológico, para os solos de textura média, arenosa e argilosa com a aplicação das doses de lodo de gelatina. Araújo (2006) também observou o aumento para esse

nutriente utilizando lodo primário de indústria de gelatina, concluindo que o Ca^{2+} melhora a fertilidade do solo.

Os resultados obtidos por Cabral et al. (2010) também não tiveram efeito antes e depois da semeadura e entre as camadas, quando aplicada a água residuária de fecularia de mandioca.

Segundo Furtini Neto et al. (2001) a lixiviação do Ca^{2+} para as camadas mais profundas no solo depende do volume de água percolada, da concentração desse nutriente no solo, da CTC do solo, do tipo de ânion presente na solução e da concentração de CO_2 no solo. A concentração e a pressão de CO_2 no solo formam $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, fazendo assim o Ca se movimentar em maiores profundidades. Portanto, a aplicação de resíduos orgânicos ao solo pode aumentar a lixiviação de Ca^{2+} .

4.1.3 Magnésio

Na Tabela 13 está apresentada a análise de variância ao nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, camada e dose foram significativas.

Tabela 13. Análise de variância para o magnésio, sob aplicação de LIG. Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	58,698	58,698	1790,598	0,0000
Camada	5	47,400	9,480	289,191	0,0000
Dose	4	0,393	0,098	3,000	0,0212
Solo*camada	5	12,520	2,504	76,386	0,0000
Solo*dose	4	0,021	0,005	0,167	0,9545
Camada*dose	20	0,753	0,037	1,149	0,3109
Solo*camada*dose	20	2,101	0,105	3,205	0,0000
Erro	120	3,933	0,032		

Na Tabela 14 está apresentada a análise de variância do desdobramento do solo com a interação das camadas e das doses. No teste F, foram significativos todos os solos (Latossolo e Nitossolo), nas diferentes camadas (0,0 – 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40, 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 m) e nas doses de LIG (0, 150, 300, 450, 600 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).

Tabela 14. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.

FV	CAMADA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	0	1	0,944	0,944	28,799	0,0000
Solo	0,0 - 0,05	150	1	0,552	0,552	16,841	0,0001
Solo	0,0 - 0,05	300	1	0,784	0,784	23,941	0,0000
Solo	0,0 - 0,05	450	1	0,608	0,608	18,547	0,0000
Solo	0,0 - 0,05	600	1	0,721	0,721	21,996	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	0	1	1,353	1,353	41,296	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	150	1	0,721	0,721	21,996	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	300	1	0,129	0,129	3,937	0,0495
Solo	0,05 - 0,10	450	1	0,528	0,528	16,109	0,0001
Solo	0,05 - 0,10	600	1	0,360	0,360	10,986	0,0012
Solo	0,10 - 0,20	0	1	0,770	0,770	23,501	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	150	1	0,742	0,742	22,635	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	300	1	0,968	0,968	29,529	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	450	1	0,395	0,395	12,058	0,0007
Solo	0,10 - 0,20	600	1	0,299	0,299	9,129	0,0031
Solo	0,20 - 0,40	0	1	4,250	4,250	129,658	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	150	1	3,728	3,728	113,747	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	300	1	6,140	6,140	187,325	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	450	1	7,238	7,238	220,795	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	600	1	2,940	2,940	89,684	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	0	1	3,212	3,212	97,982	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	150	1	6,120	6,120	186,708	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	300	1	3,697	3,697	112,787	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	450	1	4,506	4,506	137,475	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	600	1	8,906	8,906	271,677	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	0	1	2,747	2,747	83,805	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	150	1	2,148	2,148	65,525	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	300	1	2,294	2,294	69,979	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	450	1	2,760	2,760	84,218	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	600	1	2,774	2,774	84,633	0,0000
Erro			120	3,933	0,032		

Pode-se observar na Tabela 15 os valores médios de magnésio pelo teste Tukey 5% de probabilidade para os solos nas diferentes camadas e solos.

Tabela 15. Valores médios de Mg^{2+} ($cmol_c dm^{-3}$) para os solos nas diferentes camadas e doses.

Camada	Dose ($m^3 ha^{-1}$)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	0	0,45 a	1,24 b
0,0 - 0,05	150	0,57 a	1,18 b
0,0 - 0,05	300	0,65 a	1,37 b
0,0 - 0,05	450	0,70 a	1,34 b
0,0 - 0,05	600	0,68 a	1,38 b
0,05 - 0,10	0	0,28 a	1,23 b
0,05 - 0,10	150	0,44 a	1,13 b
0,05 - 0,10	300	0,61 a	0,90 b
0,05 - 0,10	450	0,62 a	1,21 b
0,05 - 0,10	600	0,66 a	1,15 b
0,10 - 0,20	0	1,05 a	0,33 b
0,10 - 0,20	150	0,30 a	1,00 b
0,10 - 0,20	300	0,35 a	1,15 b
0,10 - 0,20	450	0,36 a	0,87 b
0,10 - 0,20	600	0,43 a	0,88 b
0,20 - 0,40	0	0,90 a	2,58 b
0,20 - 0,40	150	0,93 a	2,51 b
0,20 - 0,40	300	0,74 a	2,77 b
0,20 - 0,40	450	0,75 a	2,94 b
0,20 - 0,40	600	1,12 a	2,52 b
0,40 - 0,60	0	1,04 a	2,50 b
0,40 - 0,60	150	0,99 a	3,01 b
0,40 - 0,60	300	0,99 a	2,56 b
0,40 - 0,60	450	0,98 a	2,71 b
0,40 - 0,60	600	0,90 a	3,34 b
0,60 - 0,80	0	1,08 a	2,43 b
0,60 - 0,80	150	1,13 a	2,32 b
0,60 - 0,80	300	1,22 a	2,45 b
0,60 - 0,80	450	1,21 a	2,57 b
0,60 - 0,80	600	1,14 a	2,50 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de tukey.

Observa-se que houve diferença entre os dois solos, ou seja, houve efeito com a aplicação das doses do lodo de gelatina, em relação à testemunha e antes da semeadura, em que $0,39 cmol_c dm^{-3}$ (Tabela 2) e $0,99 cmol_c dm^{-3}$ (Tabela 3) para os respectivos solos. O aumento do teor de magnésio reflete a composição química do lodo biológico.

Os valores de magnésio são semelhantes aos obtidos por Cabral et al. (2010) onde a aplicação de água residuária de fecularia, em média, $0,99 mmol_c dm^{-3}$ de Mg nos tratamentos depois da semeadura.

Os resultados diferem do obtido por Maggi et al. (2013), que relatam os teores de Mg^{2+} no solo ao longo do experimento reduziram pela formação de complexo com algum composto orgânico aplicado via dejetos líquidos de suínos.

Apresentação da Tabela 16 explana sobre a análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses. No teste F, foram significativas todas as camadas (0,0 – 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40, 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 m), os diferentes solos (Latossolo e Nitossolo) e todas as doses de LIG (0, 150, 300, 450, 600 $m^3 h^{-1}$)

Resultados discordantes foram encontrados por Queiroz et al. (2004) utilizando água residuária de suinocultura para quatro espécies de forrageiras, fazendo isso, verificaram que os teores de magnésio no solo foram influenciados pelo tempo de aplicação, sendo estatisticamente maior no início do experimento do que no final, indicando assim que houve extração, pelas plantas, em quantidades maiores que as prontamente disponíveis adicionadas pela ARS.

Também Fonseca (2001) constatou que a disposição de efluente tratado no solo adubado promoveu decréscimo de magnésio, independente da água de irrigação utilizada (potável ou efluente tratado).

Tabela 16. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Camada	1	0	5	2,000	0,400	12,207	0,0000
Camada	1	150	5	1,682	0,336	10,266	0,0000
Camada	1	300	5	1,393	0,278	8,504	0,0000
Camada	1	450	5	1,318	0,263	8,043	0,0000
Camada	1	600	5	1,181	0,236	7,211	0,0000
Camada	2	0	5	8,063	1,612	49,195	0,0000
Camada	2	150	5	11,046	2,209	67,392	0,0000
Camada	2	300	5	9,960	1,992	60,770	0,0000
Camada	2	450	5	12,115	2,423	73,918	0,0000
Camada	2	600	5	14,012	2,802	85,487	0,0000
Erro			120	3,933	0,032		

1 - Latossolo; 2 - Nitossolo

Na Tabela 17 foram apresentados os valores médios de magnésio pelo teste de Tukey 5% de probabilidade nas camadas para os diferentes solos e doses.

Tabela 17. Valores médios de Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$) para as camadas para os diferentes solos e doses.

Solo	Dose ($m^3\ ha^{-1}$)	Camadas (m)					
		0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
Latossolo	0	0,45 a	0,28 a	0,33 a	0,90 b	1,04 b	1,08 b
Latossolo	150	0,57 ab	0,30 a	0,44 a	0,93 bc	0,99 bc	1,13 c
Latossolo	300	0,65 ab	0,61 ab	0,35 a	0,74 ab	0,99 bc	1,22 c
Latossolo	450	0,70 ab	0,62 ab	0,36 a	0,75 ab	0,98 bc	1,21 c
Latossolo	600	0,68 ab	0,66 ab	0,43 a	0,43 c	0,90 bc	1,14 c
Nitossolo	0	1,24 a	1,23 a	1,05 a	2,43 b	2,50 b	2,58 b
Nitossolo	150	1,18 a	1,13 a	1,00 a	2,32 b	2,51 b	3,01 c
Nitossolo	300	1,37 a	0,90 b	1,15 ab	2,77 c	2,56 c	2,45 c
Nitossolo	450	1,34 a	1,21 ab	0,87 b	2,94 c	2,71 c	2,57 c
Nitossolo	600	1,38 a	1,15 ab	0,88 b	2,52 c	3,34 d	2,50 c

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Cabral et al. (2010), a relação entre a produtividade da cultura da aveia com a quantidade de magnésio trocável não apresentou nenhuma tendência que pudesse relacionar a produtividade com a quantidade de Mg^+ no solo. Para as camadas analisadas, a concentração de magnésio foi superior nas camadas superiores.

Na Tabela 18 apresenta as análises de variância do desdobramento das doses em relação ao solo e as camadas. Nota-se que foi significativo pelo teste F no nível de 5% o NVdf nas camadas de 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60, no entanto não teve modelo estatístico que explicasse esse comportamento, ou seja, com baixo valor de R^2 (<0,8).

Tabela 18. Análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as camadas.

FV	SOLO	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	1	0,0 - 0,05	4	0,125	0,031	0,956	0,434
Dose	1	0,05 - 0,10	4	0,301	0,075	2,298	0,062
Dose	1	0,10 - 0,20	4	0,030	0,007	0,229	0,927
Dose	1	0,20 - 0,40	4	0,294	0,071	2,252	0,067
Dose	1	0,40 - 0,60	4	0,028	0,007	0,219	0,927
Dose	1	0,60 - 0,80	4	0,041	0,010	0,317	0,866
Dose	2	0,0 - 0,05	4	0,089	0,022	0,680	0,606
Dose	2	0,05 - 0,10	4	0,213	0,053	1,625	0,171
Dose	2	0,10 - 0,20	4	0,170	0,042	1,301	0,272
Dose	2	0,20 - 0,40	4	0,417	0,104	3,183	0,015
Dose	2	0,40 - 0,60	4	1,458	0,364	11,123	0,000
Dose	2	0,60 - 0,80	4	0,099	0,029	0,756	0,555
Erro			120	3,933	0,032		

1 - Latossolo; 2 – Nitossolo.

4.1.4 Potássio

Na Tabela 19 está apresentada a análise de variância ao nível de 0,05 pelo teste F, em que foram significativos o solo, as camadas e a interação solo e camada.

Tabela 19. Análise de variância para o potássio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	3,157	3,157	759,414	0,0000
Camada	5	22,082	4,416	1062,204	0,0000
Dose	4	0,022	0,005	1,378	0,2455
Solo*camada	5	0,943	0,188	45,370	0,0000
Solo*dose	4	0,036	0,009	2,209	0,0720
Camada*dose	20	0,109	0,005	1,321	0,1791
Solo*camada*dose	20	0,088	0,004	1,063	0,3976
Erro	120	0,498	0,004		

Com o F significativo para o solo, os valores médios de potássio pelo teste Tukey a 5%, para o LVd foi de $0,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e para o NVdf foi de $0,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No entanto, para camadas, os valores médios de potássio apresentados na Tabela 20 mostram aumento de K^+ para ambos os solos ($0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no Latossolo e $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no Nitossolo) e para camadas entre o início e o final do experimento.

Tabela 20. Valores médios de K^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo sob aplicação de LIG. Maringá-PR.

Camadas	Potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)
0,00 - 0,05	0,09 a
0,05 - 0,10	0,74 c
0,10 - 0,20	0,14 a
0,20 - 0,40	1,00 e
0,40 - 0,60	0,34 b
0,60 - 0,80	0,81 d

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O aumento de K^+ no solo foi provocado possivelmente pela adição de lodo biológico, embora fosse pobre nesse elemento. Esse resultado difere do obtido por Guimarães et al. (2012), que apesar da significância estatística, observou um pequeno aumento de K^+ no solo.

Trannin et al. (2008) relataram o aumento desse elemento na aplicação de biossólido industrial com baixos teores de K^+ complementando com KCl.

É possível observar a Tabela 21 a análise de variância pelo teste F, o desdobramento dos solos para as diferentes camadas.

Marques (1997) aplicou lodo de esgoto em solo com textura média e observou que após um ano de aplicação ocorreu aumento do potássio até a dose de 40 t ha⁻¹.

Resultados semelhantes foram encontrados por Freitas et al. (2004) que observou aumento nas concentrações de potássio no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura na cultura do milho.

Seganfredo (1998) verificou que os teores de K⁺ no solo são superiores nos solos que receberam aplicação de ARS em comparação aos que não receberam. Porém, houve uma maior proximidade entre os teores dos solos com e sem aplicação e isso pode ser devido ao fato de que com a aplicação de ARS pode haver maior crescimento das plantas, este fato resultará em maiores quantidades de K⁺ exportados, especialmente no caso do K⁺ que é um elemento exportado em grandes quantidades nas plantas. Também, Ceretta et al. (2003) observaram elevados teores de potássio em área de pastagem, sob aplicação de dejetos líquidos de suínos.

Tabela 21. Análise de variância do desdobramento do solo para diferentes camadas.

FV	CAMADAS	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	1	0,095	0,095	22,898	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	1	0,108	0,108	25,975	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	1	0,168	0,168	40,587	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	1	1,550	1,550	372,895	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	1	1,438	1,438	346,057	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	1	0,739	0,739	177852	0,0000
Erro		120	0,498933	0.004		

Os valores médios de potássio pelo teste Tukey 5%, foram apresentados na Tabela 25, para o LVd e o NVdf para as diferentes camadas. Observa-se que em todas as camadas o LVd obteve valores inferiores ao NVdf, isso deve ao desenvolvimento do milho, que adsorveu o nutriente.

Tabela 22. Valores médios de K^{2+} ($cmol_c dm^{-3}$) para o LVd e o NVdf nas diferentes camadas.

Camadas (m)	SOLO	
	Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	0,03 A a	0,15 B e
0,05 - 0,10	0,68 A c	0,80 B c
0,10 - 0,20	0,06 A ab	0,21 B e
0,20 - 0,40	0,78 A d	1,23 B a
0,40 - 0,60	0,12 A d	0,56 B d
0,60 - 0,80	0,66 A c	0,97 B b

Letras iguais na mesma linha e na coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Através das Tabelas 2 e 3, pode se observar na análise química inicial o aumento do K^+ em todas as camadas, exceto nas superficiais dos dois solos. O LVd ($0,10 cmol_c dm^{-3}$) apresentou uma decomposição do lodo biológico mais rápido que o NVdf ($0,28 cmol_c dm^{-3}$).

4.1.5 Alumínio

Na Tabela 23 apresenta-se a análise de variância ao nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, camada e dose foram significativas para o alumínio.

Tabela 23. Análise de variância para o alumínio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0,011361	0,011361	4,822	0,0300
Camada	5	0,032256	0,006451	2,738	0,0222
Dose	4	0,019664	0,004916	2,087	0,0867
Solo*camada	5	0,038256	0,007651	3,247	0,0087
Solo*dose	4	0,011998	0,002999	1,273	0,2844
Camada*dose	20	0,073069	0,003653	1,551	0,0769
Solo*camada*dose	20	0,084069	0,004203	1,784	0,0297
Erro	120	0,282733	0,002356		

Observa-se na Tabela 24 a análise de variância do desdobramento do solo com a interação das camadas e das doses. No teste F, foram significativos os dois solos (Latossolo e Nitossolo) nas diferentes camadas a seguir (0,0 – 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40, 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80) e nas doses de LIG (0, 150, 300, 450, 600 $m^3 h^{-1}$).

Tabela 24. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.

FV	CAMADA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,0 - 0,05	150	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,0 - 0,05	300	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,0 - 0,05	450	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,0 - 0,05	600	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,05 - 0,10	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,05 - 0,10	150	1	0,006	0,006	2,830	0,0951
Solo	0,05 - 0,10	300	1	0,002	0,002	1,019	0,3149
Solo	0,05 - 0,10	450	1	0,000	0,000	0,028	0,8667
Solo	0,05 - 0,10	600	1	0,002	0,002	1,019	0,3149
Solo	0,10 - 0,20	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,10 - 0,20	150	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,10 - 0,20	300	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,10 - 0,20	450	1	0,015	0,015	6,366	0,0129
Solo	0,10 - 0,20	600	1	0,112	0,112	47,564	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,20 - 0,40	150	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,20 - 0,40	300	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,20 - 0,40	450	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,20 - 0,40	600	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,40 - 0,60	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,40 - 0,60	150	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,40 - 0,60	300	1	0,001	0,001	0,707	0,4020
Solo	0,40 - 0,60	450	1	0,001	0,001	0,707	0,4020
Solo	0,40 - 0,60	600	1	0,003	0,003	1,592	0,2095
Solo	0,60 - 0,80	0	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,60 - 0,80	150	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,60 - 0,80	300	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,60 - 0,80	450	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Solo	0,60 - 0,80	600	1	0,000	0,000	0,000	10,000
Erro			120	0,282	0,002		

A Tabela 25 apresenta os valores médios de alumínio pelo teste Tukey 5% de probabilidade para os solos nas diferentes camadas e solos.

Tabela 25. Valores médios de alumínio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) para os solos nas diferentes camadas e doses.

Camada	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	SOLO	
		Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	0	0,00 a	0,00 a
0,0 - 0,05	150	0,00 a	0,00 a
0,0 - 0,05	300	0,00 a	0,00 a
0,0 - 0,05	450	0,00 a	0,00 a
0,0 - 0,05	600	0,00 a	0,00 a
0,05 - 0,10	0	0,00 a	0,00 a
0,05 - 0,10	150	0,00 a	0,06 a
0,05 - 0,10	300	0,00 a	0,04 a
0,05 - 0,10	450	0,00 a	0,01 a
0,05 - 0,10	600	0,00 a	0,04 a
0,10 - 0,20	0	0,00 a	0,00 a
0,10 - 0,20	150	0,00 a	0,00 a
0,10 - 0,20	300	0,00 a	0,00 a
0,10 - 0,20	450	0,00 a	0,10 b
0,10 - 0,20	600	0,00 a	0,27 b
0,20 - 0,40	0	0,00 a	0,00 a
0,20 - 0,40	150	0,00 a	0,00 a
0,20 - 0,40	300	0,00 a	0,00 a
0,20 - 0,40	450	0,00 a	0,00 a
0,20 - 0,40	600	0,00 a	0,00 a
0,40 - 0,60	0	0,00 a	0,00 a
0,40 - 0,60	150	0,00 a	0,00 a
0,40 - 0,60	300	0,00 a	0,03 a
0,40 - 0,60	450	0,00 a	0,03 a
0,40 - 0,60	600	0,00 a	0,05 a
0,60 - 0,80	0	0,00 a	0,00 a
0,60 - 0,80	150	0,00 a	0,00 a
0,60 - 0,80	300	0,00 a	0,00 a
0,60 - 0,80	450	0,00 a	0,00 a
0,60 - 0,80	600	0,00 a	0,00 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Apesar da significância estatística, o aumento do Al^{3+} foi no NVdf na camada de 0,10–0,20 m com $0,10 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e $0,27 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nos tratamentos 450 e $600 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ respectivamente.

Apresenta-se na Tabela 26 a análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses. Assim, o NVdf na dose de $600 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ foi significativo.

Tabela 26. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Camada	1	0	5	0,000	0,000	0,000	10,000
Camada	1	150	5	0,000	0,000	0,000	10,000
Camada	1	300	5	0,002	0,000	0,236	0,9460
Camada	1	450	5	0,000	0,000	0,000	10,000
Camada	1	600	5	0,006	0,001	0,531	0,7526
Camada	2	0	5	0,000	0,000	0,000	10,000
Camada	2	150	5	0,011	0,002	0,943	0,4554
Camada	2	300	5	0,004	0,000	0,340	0,8879
Camada	2	450	5	0,023	0,002	2,009	0,0819
Camada	2	600	5	0,179	0,035	15,266	0,0000
Erro			120	0,282	0,002		

Solo: 1 – Latossolo; 2 – Nitossolo.

Observa-se na Tabela 27, aumento de Al^{3+} no NVdf com aplicação $600\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ na camada 0,10–0,20 m em relação às outras camadas e o Latossolo.

Guimarães (2009) obteve valores semelhantes, o solo de textura média não apresentava acidez trocável, nos solos de textura arenosa e argilosa houve a diminuição com o aumento das doses de lodo biológico.

Cabral et al. (2010) obtiveram diferenças entre as camadas com a aplicação de água residuária de fecularia, as camadas superficiais foram superiores ($1,77\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$) em relação as camadas de 0,20 – 0,40 m que apresentaram $1,65\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$.

Tabela 27. Valores médios de alumínio ($\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$) para as camadas nos diferentes solos e doses.

SOLO	DOSE ($\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$)	CAMADAS					
		0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
Latossolo	0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Latossolo	150	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Latossolo	300	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,03 a	0,00 a
Latossolo	450	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Latossolo	600	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,05 a	0,00 a
Nitossolo	0	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Nitossolo	150	0,00 a	0,06 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Nitossolo	300	0,00 a	0,04 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Nitossolo	450	0,00 a	0,00 a	0,10 a	0,00 a	0,03 a	0,00 a
Nitossolo	600	0,00 a	0,04 a	0,27 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise de variância do desdobramento das doses para os diferentes solos e camadas para o alumínio no teste F, apenas no NVdf com a camada 0,10 – 0,20 m foram significativos, mas não há modelo estatístico que explica esse comportamento, com baixo valor de R^2 (<0,80).

Tabela 28. Análise de variância do desdobramento das doses de LIG para os diferentes solos e camadas.

FV	SOLO	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	1	0,0 - 0,05	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	1	0,05 - 0,10	4	0,000	0,00	0,000	10,000
Dose	1	0,10 - 0,20	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	1	0,20 - 0,40	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	1	0,40 - 0,60	4	0,006	0,001	0,707	0,5879
Dose	1	0,60 - 0,80	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	2	0,0 - 0,05	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	2	0,05 - 0,10	4	0,008	0,002	0,951	0,4367
Dose	2	0,10 - 0,20	4	0,170	0,042	18,092	0,0000
Dose	2	0,20 - 0,40	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Dose	2	0,40 - 0,60	4	0,002	0,000	0,283	0,8884
Dose	2	0,60 - 0,80	4	0,000	0,000	0,000	10,000
Erro			120	0,282	0,002		

Solo: 1 – Latossolo; 2 – Nitossolo.

4.1.6 Sódio

Na Tabela 29, apresenta-se a análise de variância pelo teste F, o sódio elemento surte efeitos significativos para solos, camadas, doses e a interação das camadas com as doses.

Tabela 29. Análise de variância dos valores de sódio do solo sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	7839,348	7839,348	13,673	0,0003
Camada	5	90653,672	18130,734	31,622	0,0000
Dose	4	14731,393	3682,848	6,423	0,0001
Solo*camada	5	4363,909	872,781	1,522	0,1879
Solo*dose	4	394,109	98,527	0,172	0,9524
Camada*dose	20	46010,577	2300,528	4,012	0,0000
Solo*camada*dose	20	18729,001	936,450	1,633	0,0554
Erro	120	68803,089	573,359		

Através do teste de Tukey a 5% constatou-se os valores médios de sódio no Latossolo e no Nitossolo, 54,56 e 67,76 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, portanto, houve aumento nesse elemento, pois antes da semeadura os solos apresentavam 36,21 e 47,43 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas superficiais (0,0 – 0,05 m) para os respectivos solos.

Observa-se na Tabela 30, que a camada superficial apresentou elevada concentração de sódio, devido à elevada concentração desse elemento no lodo (583 mg L^{-1}).

Tabela 30. Valores médios de sódio em diferentes camadas, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

Camadas	Sódio (mg L^{-1})
0,0 - 0,05	99,32 a
0,05 - 0,10	43,21 cd
0,10 - 0,20	36,63 d
0,20 - 0,40	81,39 b
0,40 - 0,60	60,45 c
0,60 - 0,80	45,95 cd

Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os valores médios de sódio no solo foram influenciados pelos tratamentos do lodo de indústria de gelatina, ou seja, a elevada concentração de LIG aumentou os valores de sódio no solo, como pode ser verificado na Figura 2.

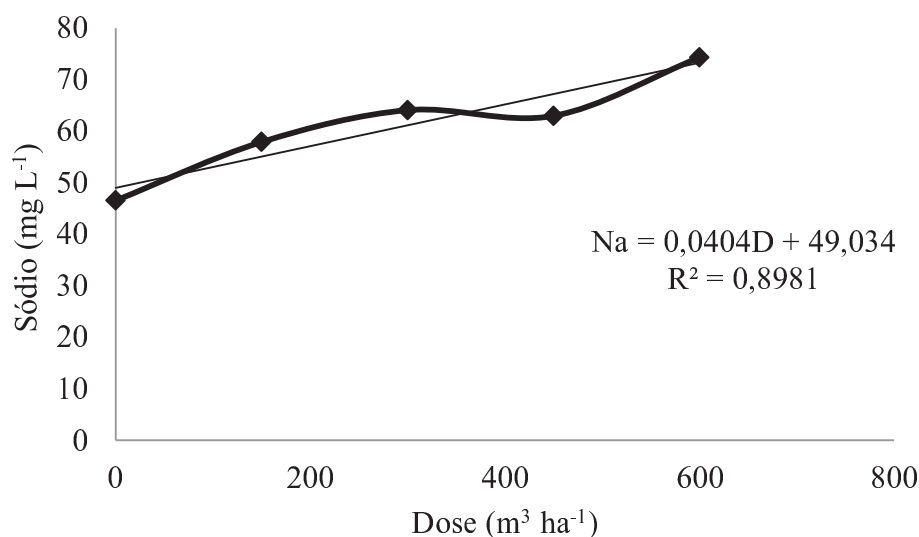


Figura 2. Valores médios de sódio em relação as dose crescente de LIG.

A quantidade de sódio aplicado em cada tratamento de acordo com o estudo químico do lodo, Tabela 4, em que a concentração de sódio é 583 mg dm^{-3} , totalizando nos tratamentos 150, 300, 450 e $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 429,27, 858,54, 1287,81 e 1717,08 mg de sódio, respectivamente.

A análise de variância referente ao desdobramento das camadas para as diferentes doses de LIG para o sódio, pelo teste F, foi representada na Tabela 31.

Tabela 31. Análise de variância do desdobramento das camadas para as diferentes doses.

FV	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Camada	0	5	47026,425	9405,285	16,404	0,0000
Camada	150	5	34616,467	6923,293	12,075	0,0000
Camada	300	5	23124,145	4624,829	8,066	0,0000
Camada	450	5	15477,086	3095,417	5,399	0,0002
Camada	600	5	16420,125	3284,025	5,728	0,0001
Erro		120	68803,089	573,359		

Com a significância, constatam-se os valores médios de sódio nas camadas para as diferenças de doses de LIG, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, exibido na Tabela 32. Os valores da concentração de sódio observada nas camadas podem ser explicados, em razão da adição de sódio via água de reposição da evapotranspiração diária. Na análise da água utilizada mostrou concentração de $16,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de sódio, e a percolação de sódio ocorreu em maiores concentrações nos tratamentos de maiores taxas aplicadas de lodo, para as doses 0, 150, 300, 450 e $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, observou no Latossolo 7,34, 18,8, 84,67, 135,49 e 256,21 mg dm^{-3} e no Nitossolo 2,03, 2,16, 6,25, 41,01 e 69,28 mg dm^{-3} .

Tabela 32. Valores médios de sódio nas camadas para as diferentes doses.

Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Camadas (m)					
	0,00 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60	0,60 - 0,80
0	113,64 a	44,59 bc	35,10 abc	66,38 c	16,86 ab	2,63 d
150	101,14 a	43,26 b	40,20 b	100,14 a	39,95 b	22,52 b
300	94,52 a	38,93 b	34,00 b	79,22 ab	92,51 a	45,30 bc
450	93,07 a	39,71 ab	33,83 b	78,88 ac	64,00 abc	68,34 abc
600	94,26 a	49,55 bc	40,04 b	84,19 ac	88,89 ac	90,95 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Percebe-se que a camada superficial (0,0 – 0,05 m) obteve elevadas concentrações de sódio em todos os tratamentos referente ao lodo de gelatina.

Na Tabela 33 foi apresentada a análise de variância do desdobramento das doses de LIG nas diferentes camadas.

Tabela 33. Análise de variância do desdobramento das doses de LIG nas diferentes camadas.

FV	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	0,0 - 0,05	4	1777,040	444,260	0,775	0,5431
Dose	0,05 - 0,10	4	436,266	109,066	0,190	0,9430
Dose	0,10 - 0,20	4	249,008	62,252	0,109	0,9793
Dose	0,20 - 0,40	4	3568,260	892,065	1,556	0,1899
Dose	0,40 - 0,60	4	25001,507	6250,376	10,901	0,0000
Dose	0,60 - 0,80	4	29709,887	7427,471	12,954	0,0000
Erro		120	68803,089	573,359		

Observa-se na acima que foi significativo a 5% pelo teste F, a camada de 0,40 – 0,60 m, que por sua vez, não apresentou modelo significativo com baixo valor de R^2 . No entanto, para a camada de 0,60 – 0,80 m os valores foram significativos estatisticamente, em que os valores médios de sódio no solo foram influenciados pelos tratamentos, podendo estabelecer um modelo de regressão linear crescente, representado na Figura 3.

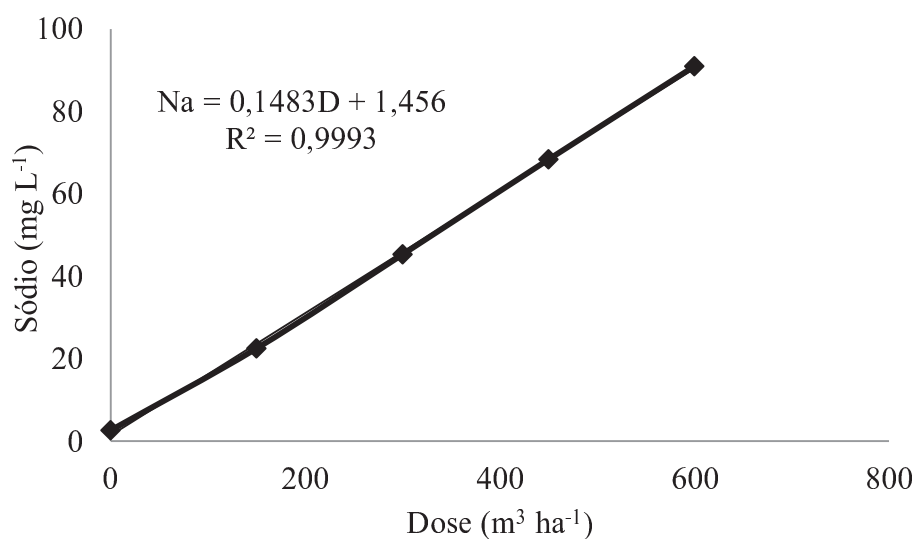


Figura 3. Valores médios de sódio para a camada de 0,60 – 0,80 m.

Araújo (2006) verificou o aumento linear de sódio com a aplicação de lodo de indústria de gelatina em todas as profundidades, no entanto o teor Na-total na camada de 0–5 cm aumentou com as doses do LIG, pela equação: $Na = 0,0007D + 1,176$ ($r^2 = 0,885^{**}$).

4.1.7 Carbono

A análise de variância a 5% de significância pelo teste F para o carbono no extrato aquoso do solo foi apresentada na Tabela 34. Observa-se que a interação do solo, camada e dose foram significativas.

Tabela 34. Análise de variância referente ao carbono.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	1.279.680,020	1.279.680,020	265,870	0,0000
Camada	5	366.369,911	73.273,982	15,224	0,0000
Dose	4	42.431,181	10.607,795	2,204	0,0726
Solo*camada	5	392.046,707	78.409,341	16,291	0,0000
Solo*dose	4	22.389,519	5.597,380	1,163	0,3307
Camada*dose	20	112.992,906	5.649,645	1,174	0,2887
Solo*camada*dose	20	164.533,021	8.226,651	1,709	0,0407
Erro	120	577.581,067	4.813,176		

Na Tabela 35 apresenta a análise de variância do desdobramento do solo com a interação das camadas e das doses, pelo teste F no nível de 0,05 de significância.

Tabela 35. Análise de variância do desdobramento do solo para a interação das camadas e das doses.

FV	CAMADA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	0	1	4,284	4,284	0,890	0,3473
Solo	0,0 - 0,05	150	1	3,634	3,634	0,755	0,3866
Solo	0,0 - 0,05	300	1	8,126	8,126	17,686	0,0001
Solo	0,0 - 0,05	450	1	85,202	85,202	17,702	0,0001
Solo	0,0 - 0,05	600	1	91,104	91,104	18,928	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	0	1	76,469	76,469	15,888	0,0001
Solo	0,05 - 0,10	150	1	146,026	146,026	30,339	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	300	1	68,411	68,411	14,213	0,0003
Solo	0,05 - 0,10	450	1	60,674	60,674	12,606	0,0006
Solo	0,05 - 0,10	600	1	32,760	32,760	6,806	0,0102
Solo	0,10 - 0,20	0	1	9,151	9,151	1,901	0,1705
Solo	0,10 - 0,20	150	1	25,916	25,916	5,385	0,0220
Solo	0,10 - 0,20	300	1	36,556	36,556	7,595	0,0068
Solo	0,10 - 0,20	450	1	0,228	0,228	0,047	0,8280
Solo	0,10 - 0,20	600	1	4,968	4,968	1,032	0,3117
Solo	0,20 - 0,40	0	1	0,224	0,224	0,047	0,8295
Solo	0,20 - 0,40	150	1	7,326	7,326	1,522	0,2197
Solo	0,20 - 0,40	300	1	9,126	9,126	1,896	0,1711
Solo	0,20 - 0,40	450	1	9,126	9,126	1,896	0,1711
Solo	0,20 - 0,40	600	1	12,269	12,269	2,549	0,1130
Solo	0,40 - 0,60	0	1	138,528	138,528	28,781	0,0000

Tabela 35, Cont.;

Solo	0,40 - 0,60	150	1	123,851	123,851	25,732	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	300	1	195,853	195,853	40,691	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	450	1	103,584	103,584	21,521	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	600	1	228,166	228,166	47,405	0,0000
Solo	0,60 - 0,80	0	1	76,469	76,469	15,888	0,0001
Solo	0,60 - 0,80	150	1	63,180	63,180	13,127	0,0004
Solo	0,60 - 0,80	300	1	5,664	5,664	1,177	0,2802
Solo	0,60 - 0,80	450	1	60,674	60,674	12,606	0,0006
Solo	0,60 - 0,80	600	1	94,089	94,089	19,548	0,0000
Erro			120	577,581		4,813	

Na Tabela 36 é possível observar os valores médios de carbono para os solos nas diferentes camadas e doses do LIG. Repare, que o NVdf apresentou elevadas concentrações do carbono em relação ao LVd, que por sua vez, o crescimento do milho foi inferior ao do LVd, ou seja, a demanda por esse nutriente foi menor.

Tabela 36. Valores médios de carbono (g dm^{-3}) para os solos nas diferentes camadas e doses.

Camada	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	0	6,23 a	7,92 a
0,0 - 0,05	150	5,19 a	6,75 a
0,0 - 0,05	300	5,45 a	12,98 b
0,0 - 0,05	450	4,28 a	11,82 b
0,0 - 0,05	600	4,28 a	12,07 b
0,05 - 0,10	0	3,25 a	10,39 b
0,05 - 0,10	150	4,02 a	13,89 b
0,05 - 0,10	300	3,89 a	10,65 b
0,05 - 0,10	450	2,99 a	9,35 b
0,05 - 0,10	600	4,41 a	9,09 b
0,10 - 0,20	0	6,62 a	9,09 a
0,10 - 0,20	150	5,71 a	9,87 b
0,10 - 0,20	300	6,10 a	11,04 b
0,10 - 0,20	450	7,04 a	7,79 a
0,10 - 0,20	600	8,18 a	10,00 a
0,20 - 0,40	0	11,04 a	11,42 a
0,20 - 0,40	150	9,61 a	11,82 a
0,20 - 0,40	300	11,30 a	13,76 b
0,20 - 0,40	450	10,13 a	7,66 a
0,20 - 0,40	600	10,00 a	12,86 a
0,40 - 0,60	0	1,43 a	11,04 b
0,40 - 0,60	150	2,60 a	11,68 b
0,40 - 0,60	300	0,91 a	12,33 b

Tabela 36, Cont.;

0,40 - 0,60	450	2,08 a	10,39 b
0,40 - 0,60	600	2,60 a	14,93 b
0,60 - 0,80	0	3,90 a	11,04 b
0,60 - 0,80	150	3,25 a	9,74 b
0,60 - 0,80	300	6,49 a	8,44 a
0,60 - 0,80	450	3,12 a	9,48 b
0,60 - 0,80	600	1,82 a	9,74 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e dos tratamentos foi representada na Tabela 37. Nota-se que não foi significativo ao teste F a 0,05 de significância o NVdf nos tratamentos 0, 300 e 450 m³ ha⁻¹.

Tabela 37. Análise de variância do desdobramento das camadas para a interação dos solos e das doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Camada	Latossolo	0	5	183,289	36,657	7,616	0,0000
Camada	Latossolo	150	5	94,627	18,925	3,932	0,0024
Camada	Latossolo	300	5	175,242	35,048	7,282	0,0000
Camada	Latossolo	450	5	146,074	29,214	6,070	0,0000
Camada	Latossolo	600	5	154,671	30,934	6,427	0,0000
Camada	Nitossolo	0	5	25,519	5,103	1,060	0,3854
Camada	Nitossolo	150	5	88,818	17,76	3,691	0,0038
Camada	Nitossolo	300	5	55,012	11,002	2,286	0,0502
Camada	Nitossolo	450	5	37,356	7,471	1,552	0,1785
Camada	Nitossolo	600	5	75,331	15,066	3,130	0,0108
Erro			120	577,581	4,813		

Na Tabela 38 foi apresentada os valores médios de carbono para as camadas nos diferentes solos e tratamentos.

Tabela 38. Valores médios de carbono (g dm^{-3}) para as camadas nos diferentes solos e doses.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Camadas					
		0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
Latossolo	0	6,23 ab	3,25 ab	6,62 bc	11,42 c	1,42 a	3,90 ab
Latossolo	150	5,19 ab	4,02 a	5,73 ab	9,61 b	2,69 a	3,25 a
Latossolo	300	5,45 ab	3,89 ab	6,10 b	11,30 c	0,91 a	6,49 bc
Latossolo	450	4,28 ab	2,99 ab	7,40 bc	10,13 c	2,08 a	3,12 a
Latossolo	600	4,28 ab	4,41 ab	8,18 bc	10,00 c	2,60 a	1,82 a
Nitossolo	0	7,92 a	10,39 a	9,09 a	11,04 a	11,04 a	11,04 a
Nitossolo	150	6,75 a	13,89 b	9,87 ab	11,82 ab	11,68 ab	9,74 ab
Nitossolo	300	12,98 ab	10,65 ab	11,04 ab	13,76 b	12,33 ab	8,44 a
Nitossolo	450	11,82 a	9,35 a	7,79 a	7,66 a	10,39 a	9,48 a
Nitossolo	600	12,07 ab	9,09 a	10,00 ab	12,86 ab	14,93 b	9,74 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 38 que as camadas 0,20 – 0,40 nos dois solos e em todas as doses aplicadas foram as que apresentaram elevada concentração de carbono.

A análise de variância do desdobramento das doses para os diferentes solos e camadas para o carbono no teste F (Tabela 39), apenas no NVdf com as camadas 0,00 – 0,05 m e 0,20 – 0,40 m foram significativos, mas não tem modelo estatístico que explica esse comportamento, ou seja, o baixo valor de R^2 .

Tabela 39. Análise de variância do desdobramento das doses para os diferentes solos e camadas.

FV	SOLO	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	1	0,0 - 0,05	4	8,23	2,057	0,428	0,7882
Dose	1	0,05 - 0,10	4	4,092	1,023	0,213	0,9309
Dose	1	0,10 - 0,20	4	11,888	2,972	0,618	0,6504
Dose	1	0,20 - 0,40	4	8,032	2,008	0,417	0,7957
Dose	1	0,40 - 0,60	4	6,636	1,657	0,344	0,8473
Dose	1	0,60 - 0,80	4	35,799	8,949	1,859	0,1215
Dose	2	0,0 - 0,05	4	92,854	23,213	4,823	0,0012
Dose	2	0,05 - 0,10	4	44,122	11,030	2,292	0,0632
Dose	2	0,10 - 0,20	4	17,501	4,375	0,909	0,4604
Dose	2	0,20 - 0,40	4	65,990	16,497	3,428	0,0108
Dose	2	0,40 - 0,60	4	36,899	9,223	1,917	0,1116
Dose	2	0,60 - 0,80	4	10,302	2,575	0,535	0,7098
Erro			120	577,581	4,813		

1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

4.1.8 Condutividade elétrica

Na Tabela 40 apresenta a análise de variância para a condutividade elétrica (CE) no extrato aquoso do solo, em nível de 5% pelo teste F, foi significativo o fator solo, doses e a interação solo e camada.

Tabela 40. Análise de variância para a condutividade.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	446662,212	446662,214	12,737	0,0005
Camada	5	128012,225	25602,445	0,730	0,6023
Dose	4	1131.663,409	282915,852	8,068	0,0000
Solo*camada	5	581208,998	116241,799	3,315	0,0077
Solo*dose	4	295778,067	73944,516	2,109	0,0839
Camada*dose	20	779652,970	38982648	1,112	0,3469
Solo*camada*dose	20	877084,637	43854,231	1,251	0,2266
Erro	120	4208123,174	35067,693		

Os valores médios de CE no extrato aquoso do solo para o Latossolo e o NVdf pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade foi de 103,63 e 203,26 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente.

As doses crescentes de lodo de gelatina influenciaram na CE, ou seja, o resíduo possuía elevada CE, que quanto maior a aplicação no solo maior foi a condutividade no extrato aquoso do solo, nesse caso o modelo de regressão foi linear crescente, Figura 4.

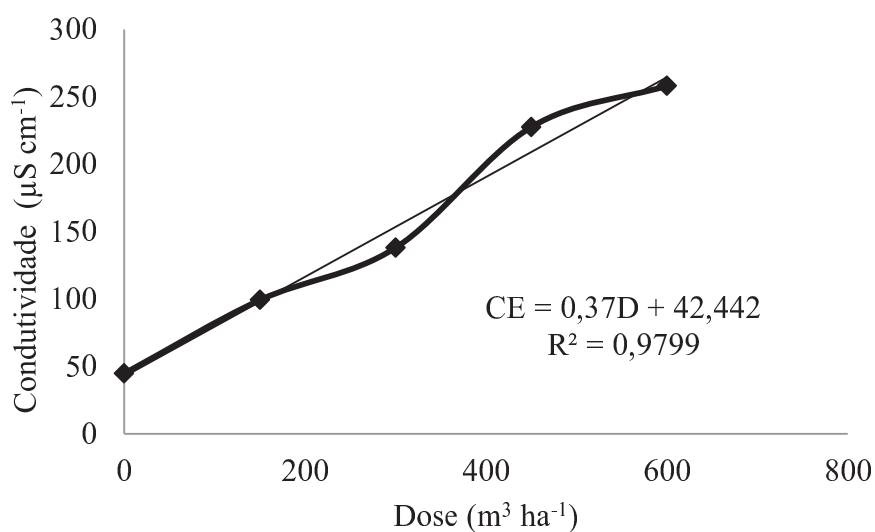


Figura 4. Valores médios de condutividade elétrica nas doses crescentes do LIG.

A Tabela 41 apresenta a análise de variância do desdobramento dos solos referente às camadas, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Observa que apenas a camada de 0,20 – 0,40 m foi significativo.

Barros et al. (2005) estudando as características químicas de solo em função das doses de água residuária de suinocultura, constataram que a condutividade elétrica no solo aumentou com a aplicação de doses ARS, com valor mínimo de 108,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$, nas condições de maiores temperaturas e, máximo de 166,66 $\mu\text{S cm}^{-1}$, em menores temperaturas.

Tabela 41. Análise de variância do desdobramento dos solos com as camadas.

FV	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,0 - 0,05	1	112117,310	112117,310	3,197	0,0763
Solo	0,05 - 0,10	1	126709703	126709,703	3,613	0,0597
Solo	0,10 - 0,20	1	120991,631	120991,631	3,450	0,0657
Solo	0,20 - 0,40	1	475937,341	475937,341	13,572	0,0003
Solo	0,40 - 0,60	1	68021,360	68021,360	1,940	0,1663
Solo	0,60 - 0,80	1	124093,863	124093,863	3,539	0,0624
Erro		120	4208123,174	35067,693		

Os valores médios de CE nos solos em diferentes camadas pelo nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey, será apresentada na Tabela 42.

Tabela 42. Valores médios de CE nos solos nas diferentes camadas

Camada	Solo	
	Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	117,76 A a	240,02 A ab
0,05 - 0,10	66,94 A a	196,92 A ab
0,10 - 0,20	78,50 A a	205,51 A ab
0,20 - 0,40	74,45 A a	326,36 B a
0,40 - 0,60	81,50 A a	176,74 A ab
0,60 - 0,80	202,63 A a	74,00 A b

Letras iguais na mesma na coluna e na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pode observar o aumento da CE no solo com a aplicação das doses de lodo biológico, a quantidade inicial de CE nos solos antes da semeadura é visível nas Tabelas 2 e 3.

Marques (2009) avaliou a fertilidade nos diferentes solos com aplicação de manureira, no caso da CE não houve acréscimo com a aplicação das doses recomendadas para a cultura do milho.

4.1.9 Fósforo

Na Tabela 43 está apresentada a análise de variância para fósforo (P) no extrato aquoso do solo, em nível de 5% pelo teste F, foi significativa a interação do solo, camada e doses.

Tabela 43. Análise de variância do fósforo no solo, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	106170,620	106170,620	380,873	0,0000
Camada	5	76636,131	15327,226	54,984	0,0000
Dose	4	1848,907	462,226	1,658	0,1642
Solo*camada	5	48611,268	9722,253	34,877	0,0000
Solo*dose	4	1723,203	430,800	1,545	0,1934
Camada*dose	20	9045,254	452,262	1,622	0,0579
Solo*camada*dose	20	9238,039	461,901	1,657	0,0503
Erro	120	3345,697	278,755		

A análise de variância do desdobramento do solo referente às camadas e às doses no nível de 5% de significância pelo teste F, é apresentada na Tabela 44.

Segundo Barrow (1985), com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão entre fosfato e superfície adsorvente e diminuindo o potencial eletrostático do plano de adsorção, como consequência a adsorção de fósforo pelo solo deve ser máxima com baixos valores de pH. O aumento de pH do solo diminui a adsorção de fósforo no solo. Esse fato pode ser observado nesse trabalho, quando ocorreu redução do pH aumentou a concentração de fósforo no solo, a partir do momento em que o pH voltou a aumentar o teor de fósforo no solo reduziu.

Resultados parecidos foram encontrados no trabalho de Ceretta et al. (2003), em que eles observaram ao longo de 8,3 meses a aplicação de ARS, obtendo assim, o aumento na quantidade de fósforo disponível na camada 0-10 cm, sendo de 242% e 580% com aplicações de 20 e 40 m³ ha⁻¹, respectivamente; aos 4,8 meses o incremento foi de 3,94% e 6,71% com as doses de 20 e 40 m³ ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 44. Análise de variância de desdobramento do solo com as camadas e as doses

FV	CAMADA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	0,00 - 0,05	0	1	5344,344	5344,344	19,172	0,0000
Solo	0,00 - 0,05	150	1	3597,091	3597,091	12,904	0,0005
Solo	0,00 - 0,05	300	1	3555,100	3555,100	12,753	0,0005
Solo	0,00 - 0,05	450	1	6105,660	6.105,660	21,903	0,0000
Solo	0,00 - 0,05	600	1	7534,544	7534,544	27,029	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	0	1	5976,832	5976,832	21,441	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	150	1	4075,262	4075,262	14,619	0,0002
Solo	0,05 - 0,10	300	1	6356,364	6356,364	22,803	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	450	1	6046,470	6046,470	21,691	0,0000
Solo	0,05 - 0,10	600	1	7246,765	7246,765	25,997	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	0	1	8822,801	8822,801	31,651	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	150	1	7287,832	7287,832	26,144	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	300	1	9201,816	9201,816	33,010	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	450	1	10483,440	10483,440	37,608	0,0000
Solo	0,10 - 0,20	600	1	11274,468	11274,468	40,446	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	0	1	3448,324	3448,324	12,370	0,0006
Solo	0,20 - 0,40	150	1	22029,312	22029,312	79,027	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	300	1	4267,200	4267,200	15,308	0,0002
Solo	0,20 - 0,40	450	1	26947,401	26947,401	96,670	0,0000
Solo	0,20 - 0,40	600	1	5855,000	5855,000	21,004	0,0000
Solo	0,40 - 0,60	0	1	11,928	11,928	0,043	0,8365
Solo	0,40 - 0,60	150	1	9,550	9,550	0,034	0,8535
Solo	0,40 - 0,60	300	1	0,004	0,004	0,000	0,9969
Solo	0,40 - 0,60	450	1	6,222	6,222	0,022	0,8815
Solo	0,40 - 0,60	600	1	5,762	5,762	0,021	0,8859
Solo	0,60 - 0,80	0	1	34,464	34,464	0,124	0,7257
Solo	0,60 - 0,80	150	1	26,797	26,797	0,096	0,7571
Solo	0,60 - 0,80	300	1	50,518	50,518	0,181	0,6711
Solo	0,60 - 0,80	450	1	62,791	62,791	0,225	0,6359
Solo	0,60 - 0,80	600	1	79,061	79,061	0,284	0,5953
Erro			120	33450,697	278,755		

Os valores médios do fósforo no solo nas diferentes camadas e nas doses de LIG (Tabela 45) pelo teste de Tukey na diferença estatística de 5% revelam que nas camadas superficiais do LVd a concentração de P foi elevada em relação ao NVdf, no entanto para camadas inferiores (>0,40 m) os níveis de P são iguais para os ambos os solos.

Tabela 45. Valores médios de fósforo (g dm^{-3}) nos solos nas diferentes camadas e dose, sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

Camada	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
0,0 - 0,05	0	64,05 a	4,36 b
0,0 - 0,05	150	54,63 a	5,66 b
0,0 - 0,05	300	64,95 a	16,27 b
0,0 - 0,05	450	76,88 a	13,08 b
0,0 - 0,05	600	89,18 a	18,30 b
0,05 - 0,10	0	66,06 a	2,94 b
0,05 - 0,10	150	56,41 a	4,28 b
0,05 - 0,10	300	67,63 a	2,54 b
0,05 - 0,10	450	66,48 a	67,63 b
0,05 - 0,10	600	74,06 a	4,55 b
0,10 - 0,20	0	79,92 a	3,22 b
0,10 - 0,20	150	73,44 a	3,74 b
0,10 - 0,20	300	80,60 a	2,28 b
0,10 - 0,20	450	87,75 a	4,15 b
0,10 - 0,20	600	89,50 a	2,80 b
0,20 - 0,40	0	60,22 a	12,27 b
0,20 - 0,40	150	132,31 a	11,12 b
0,20 - 0,40	300	93,14 a	39,,80 b
0,20 - 0,40	450	146,39 a	12,36 b
0,20 - 0,40	600	74,78 a	12,31 b
0,40 - 0,60	0	5,36 a	2,54 a
0,40 - 0,60	150	4,84 a	2,31 a
0,40 - 0,60	300	4,76 a	4,81 a
0,40 - 0,60	450	4,52 a	2,48 a
0,40 - 0,60	600	3,92 a	1,96 a
0,60 - 0,80	0	5,64 a	0,85 a
0,60 - 0,80	150	4,94 a	0,72 a
0,60 - 0,80	300	6,66 a	0,85 a
0,60 - 0,80	450	6,79 a	0,32 a
0,60 - 0,80	600	7,90 a	0,64 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise de variância pelo teste F no nível de 5% do desdobramento das camadas em relação aos solos e as doses foi apresentada na Tabela 46.

Tabela 46. Análise de variância do desdobramento das camadas em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Camada	Latossolo	0	5	16068,463	3.213,699	11,529	0,0000
Camada	Latossolo	150	5	34015,970	6.803,194	24,406	0,0000
Camada	Latossolo	300	5	21615,086	4.323,017	15,508	0,0000
Camada	Latossolo	450	5	42995,514	8.599,102	30,848	0,0000
Camada	Latossolo	600	5	23779662	4.755,932	17,061	0,0000
Camada	Nitossolo	0	5	244,676	48,935	0,176	0,9712
Camada	Nitossolo	150	5	194,301	38,860	0,139	0,9827
Camada	Nitossolo	300	5	3438,946	687,789	2,467	0,0362
Camada	Nitossolo	450	5	442,710	88,542	0,318	0,9015
Camada	Nitossolo	600	5	735,3611	147,072	0,528	0,7548
Erro			120	33450,697	278,755		

1 - Latossolo; 2 – Nitossolo.

Devido à significância pela variância, pode observar os valores médios de fósforo para as camadas em relação aos solos e as doses pela diferença de 5% do teste de Tukey na Tabela 47.

Tabela 47. Valores médios de fósforo (g dm^{-3}) para as camadas em relação aos solos e as doses.

Solos	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Camadas (m)					
		0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
Latossolo	0	64,05 a	66,06 a	79,92 a	60,22 a	5,36 b	5,64 b
Latossolo	150	54,63 a	56,41 a	73,44 a	132,31 b	4,84 c	4,94 c
Latossolo	300	64,95 a	67,63 a	80,60 a	93,14 a	4,76 b	6,66 b
Latossolo	450	76,88 a	66,48 a	87,75 a	146,39 b	4,52 c	6,79 c
Latossolo	600	89,18 a	74,06 a	89,50 a	74,78 a	3,92 b	7,90 b
Nitossolo	0	4,36 a	2,94 a	3,22 a	12,27 a	2,54 a	0,85 a
Nitossolo	150	5,66 a	4,28 a	3,74 a	11,12 a	2,31 a	0,72 a
Nitossolo	300	16,27 a	2,54 a	2,28 a	39,80 a	4,81 a	0,85 a
Nitossolo	450	13,80 a	2,99 a	4,15 a	12,36 a	2,48 a	0,32 a
Nitossolo	600	18,30 a	4,55 a	2,80 a	12,31 a	1,96 a	0,64 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Antes da semeadura o Latossolo apresentava até a camada de 0,20 m 34 mg dm^{-3} de fósforo, depois dessa profundidade a quantidade era inferior a $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$, ocorrendo o mesmo comportamento após a aplicação das doses do lodo. Até a camadas 0,20 - 0,40 m os valores médios de fósforo são superiores e diferem das camadas mais profundas ($>0,40\text{m}$). No caso do NVdf o valor inicial do P era em média, para as camadas de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$. Após a

aplicação das doses do lodo ocorreu aumento do elemento nas camadas, principalmente nas camadas superficiais. Exceto a camada 0,20 – 0,40m com a dose de 300 m³ ha⁻¹. O acúmulo do P nas camadas superficiais foi semelhante ao encontrado no trabalho do Araújo (2006) com a aplicação de lodo de indústria de gelatina.

Os valores observados no estudo estão de acordo com Maggi et al. (2013), que verificaram aumento nos índices de fósforo no solo em função do aumento de aplicação das doses de água residuária de suinocultura.

De acordo com os resultados encontrados neste experimento, Doblinski et al. (2010), aplicando ARS em solo cultivado com feijão, verificou que as perdas de fósforo total no solo foram incrementadas à medida que houve aumento das doses de ARS aplicadas, sendo maior para a maior taxa de 200 m³ ha⁻¹. Também se observou que a partir da testemunha esta quantidade foi aumentando linearmente.

Doblinski et al. (2010) constataram que com a aplicação das doses de 0, 50 100, 150 e 200 m³ ha⁻¹ a concentração de fósforo nas camadas superficiais aumenta com a quantidade de água residuária aplicada. Perceberam ainda, que o tratamento controle aumenta linearmente.

Caovilla et al. (2010) estudando aplicação de água residuária com concentrações de fósforo de 81, 431, 944 e 1009 mg dm⁻³ verificaram aumento de fósforo nas camadas superficiais e que nas camadas mais profundas não ocorreram alterações nos valores de fósforo.

Araújo (2006), com aplicação de LIG na superfície do solo, sem incorporação verificou que houve efeito significativo das doses nos parâmetros de fertilidade do solo analisadas, havendo efeito de profundidade, nos valores de P.

O uso de fontes orgânicas ou minerais no solo podem alterar a concentração de P no solo. No Latossolo, pode ter ocorrido a mineralização da matéria orgânica humificada existente no resíduo, o P liberado contribuindo para maior concentração de P-solução. No entanto, no NVdf pode ter ocorrido a imobilização temporária do P-solução do solo pela incorporação à biomassa microbiana, aumentada pela adição de carbono.

Na Tabela 48 é apresentada a análise do desdobramento das doses referente aos solos e as camadas pelo teste F com 5% de probabilidade. Observa-se que apenas o LVd na camada 0,20–0,40 m foi significativo, no entanto não tem modelo estatístico que justifica esse comportamento, ou seja, apresentou valor baixo de R².

Tabela 48. Análise de variância do desdobramento das doses referente aos solos e as camadas.

FV	SOLO	CAMADA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	1	0,0 - 0,05	4	2136,770	534,192	1,916	0,1116
Dose	1	0,05 - 0,10	4	479,280	119,820	0,430	0,7866
Dose	1	0,10 - 0,20	4	505,719	126429	0,454	0,7693
Dose	1	0,20 - 0,40	4	16356,253	4.089,063	14,669	0,0000
Dose	1	0,40 - 0,60	4	3,320	0,830	0,003	10,000
Dose	1	0,60 - 0,80	4	15,462	3,865	0,014	0,9996
Dose	2	0,0 - 0,05	4	469,833	117,458	0,421	0,7927
Dose	2	0,05 - 0,10	4	9,649	2,412	0,009	0,9998
Dose	2	0,10 - 0,20	4	6,609	1,652	0,006	0,9999
Dose	2	0,20 - 0,40	4	1856,475	464,118	1,665	0,1620
Dose	2	0,40 - 0,60	4	15,462	3,865	0,014	0,9996
Dose	2	0,60 - 0,80	4	0,567	0,141	0,001	10,000
Erro			120	33450,697	278,755		

4.2 Análises do percolado

4.2.1 pH

Na Tabela 49 pode observar a análise de variância referente ao pH no nível de 0,05 pelo teste F, em que apenas o fator coleta foi significativo.

Tabela 49. Análise de variância para o pH no percolado sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	1,344	1,344	3,270	0,0756
Coleta	2	12,288	6,144	14,946	0,0000
Dose	4	3,933	0,983	2,392	0,0605
Solo*coleta	2	1,088	0,544	1,324	0,2736
Solo*dose	4	1,711	0,427	1,041	0,3939
Coleta*dose	8	2,933	0,366	0,892	0,5290
Solo*coleta*dose	8	3,022	0,377	0,919	0,5074
Erro	60	24,666	0,411		

Os valores médios de pH no percolado para 20, 40 e 60 DAS foram 6,36, 6,73 e 7,16 respectivamente. Pela diferença estatística ao nível de 0,05 pelo teste de Tukey a última coleta foi superior e diferente dos outros dois dias.

Os valores observados no estudo estão de acordo com Maggi et al. (2011), eles verificaram o aumento nos valores de pH do percolado ao longo das coletas, com aplicação da água residuária de suinocultura na cultura da soja.

Resultados semelhantes foram encontrados por Smanhotto (2008), Caovilla et al. (2010) e Gomes et al. (2004) que não observaram diferenças significativas nos valores de pH para o percolado para os tratamentos com ARS e adubação

Marques (2009) não encontrou efeito nos valores de pH no lixiviado com a aplicação da manipueira, nos solos Vertissolo, Latossolo e Neossolo.

4.2.2 Cálcio

Na Tabela 50 foi apresentada a análise de variância para o cálcio pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, coleta e dose foram significativas.

Tabela 50. Análise de variância para o Cálcio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	57565,603	57565,603	157,177	0,0000
Coleta	2	35763,061	17.881,530	48,824	0,0000
Dose	4	45192,169	11298,042	30,848	0,0000
Solo*coleta	2	19555,743	9777,871	26,697	0,0000
Solo*dose	4	18933,506	4733,378	12,924	0,0000
Coleta*dose	8	22833,502	2854,187	7,793	0,0000
Solo*coleta*dose	8	11724,443	1465,555	4,002	0,0007
Erro	60	21974,883	366,248		

A análise de variância do desdobramento do solo nas diferentes coletas e doses foi apresentada na Tabela 51, pelo teste de F ao nível de 0,05, para o cálcio no percolado.

Tabela 51. Análise da variância no desdobramento do solo nas diferentes coletas e doses.

FV	COLETA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0	1	319,886	319,886	0,873	0,3538
Solo	1	150	1	303,312	303,312	0,828	0,3664
Solo	1	300	1	410,853	410,853	1,122	0,2938
Solo	1	450	1	299,626	299,626	0,818	0,3694
Solo	1	600	1	279,483	279,483	0,763	0,3858
Solo	2	0	1	1572,696	1572,696	4,294	0,0426
Solo	2	150	1	1927,475	1927,475	5,263	0,0253
Solo	2	300	1	9699,456	9699,456	26,483	0,0000
Solo	2	450	1	16998,468	16998,468	46,412	0,0000
Solo	2	600	1	48127,752	48127,752	131,408	0,0000
Solo	3	0	1	1393,240	1393,240	3,804	0,0558
Solo	3	150	1	32,947	32,947	0,090	0,7653
Solo	3	300	1	4425,993	4425,993	12,085	0,0010
Solo	3	450	1	4215,620	4215,620	11,510	0,0012
Solo	3	600	1	17772,483	17772,483	48526	0,0000
Erro			60	21974,883	366,248		

1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

Na Tabela 52 observam-se os valores médios de cálcio no percolado referente às coletas e doses pela diferença estatística no nível de 0,05 pelo teste de Tukey.

O percolado nos tratamentos com LVd apresentaram elevada concentração de cálcio em praticamente todas as coletas e nos tratamento em relação ao Nitossolo. A elevada concentração do Ca^{2+} no resíduo (2.306 mg L^{-1}) explica a quantidade de cálcio existente no percolado.

Os resultados observados discordam dos encontrados por Freitas et al. (2004), onde as concentrações de cálcio no percolado de lisímetros com aplicação de água residuária de suinocultura, geralmente foram menores no final do ciclo da cultura do milho do que inicialmente. Pois no caso do lodo de gelatina a sua degradação ocorreu com o passar do tempo, aumentando disponibilidade de nutrientes ao longo do ciclo da cultura.

Marques (2009) verificou que a aplicação das doses de manipueira no Vertissolo, Latossolo e Neossolo a concentração de Ca^{2+} no percolado foi superior e diferente no Latossolo.

Tabela 52. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) nos solos nos diferentes coletas e doses, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

Coletas	Doses ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Solos	
		Latossolo	Nitossolo
1	0	22,05 a	7,45 a
1	150	21,91 a	7,69 a
1	300	24,71 a	8,16 a
1	450	24,09 a	9,95 a
1	600	23,06 a	9,41 a
2	0	41,07 a	8,60 b
2	150	45,04 a	9,2 b
2	300	89,35 a	8,94 b
2	450	127,29 a	20,84 b
2	600	194,49 a	15,37 b
3	0	39,66 a	9,18 a
3	150	15,55 a	10,86 a
3	300	91,23 a	36,91 b
3	450	114,63 a	61,62 b
3	600	164,43 a	55,58 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
Coletas: 1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

Anami et al. (2008) estudaram o processo de percolação de íons nitrato e fosfato em coluna de solo e verificaram que o íon nitrato apresentou elevado potencial de percolação, ao contrário do que ocorreu com o íon fosfato, que apresentou baixo potencial de contaminação. Como o cálcio é mais fortemente absorvido que o amônio, potássio e magnésio, sua percolação não é tão intensa e, na verdade, não chega a ser preocupante em termos de perdas.

Uma explicação apresentada por Gomes et al. (2004) sobre os maiores valores obtidos no LVd em relação ao NVdf é que nos solos arenosos, o comportamento foi semelhante, porém, provavelmente, a primeira coleta amostrada já possuía traços da frente de molhamento da água residuária. Assim, o início da curva esperada não foi detectado, em função do fluxo do solo arenoso ser maior que o argiloso. Outros pontos importantes são os valores máximos de CE encontrados nesses solos serem maiores que os argilosos, como também apresentarem uma taxa de queda mais acentuada nesses referidos valores, ao longo do tempo. A principal causa desse efeito, provavelmente, é a menor retenção de sais em solos argilosos, ou seja, existe lenta interação entre o solo e a água residuária, provocada pela maior permeabilidade do solo arenoso e sua baixa CTC.

Observa-se na Tabela 52, que a concentração de Ca^{2+} no percolado foi superior e diferente na segunda coleta (40 DAS), em todas as doses, já na terceira coleta (60 DAS) foi superior e diferente a partir da dose de $300 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, ambas as coletas para o LVd.

A análise de variância do desdobramento dos dias coletados referente aos solos e as doses ao nível de 0,05 pelo teste F, foi apresentado na Tabela 53.

Tabela 53. Análise de variância do desdobramento dos dias coletados em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
DAS	1	0	2	673,508	336,754	0,919	0,4004
DAS	1	150	2	1.445,569	722,784	1,973	0,1451
DAS	1	300	2	8.608,104	4304,052	11,752	0,0000
DAS	1	450	2	19010,590	9505,295	25,953	0,0000
DAS	1	600	2	5.274,498	25137,249	68,634	0,0000
DAS	2	0	2	4,770	2,385	0,007	0,9941
DAS	2	150	2	15,149	7,574	0,021	0,9808
DAS	2	300	2	1610,248	805,124	2,198	0,1174
DAS	2	450	2	4450,972	2225,486	6,076	0,0038
DAS	2	600	2	3783,339	1891,669	5,165	0,0082
Erro			60	21974,883	366,248		

1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

Em relação aos valores médios do cálcio no percolado dos dias coletados em relação aos solos e as doses, foi aplicado o teste Tukey a 5% de probabilidade, a diferença estatística foi apresentada na Tabela 54. As últimas coletas (40 e 60 DAS) foram superiores e diferentes referente à primeira coleta (20 DAS), o que pode ter ocorrido, foi que devido estar no início do experimento a incorporação não havia acontecido para o percolado.

Tabela 54. Valores médios da concentração de cálcio (mg L^{-1}) no percolado nas diferentes datas.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Coletas		
		20 DAS	40 DAS	60 DAS
Latossolo	0	22,05 a	39,66 a	41,07 a
Latossolo	150	21,91 a	45,04 a	15,55 a
Latossolo	300	24,71 a	89,35 b	91,23 b
Latossolo	450	24,09 a	127,29 b	114,63 b
Latossolo	600	23,06 a	194,49 b	164,43 b
Nitossolo	0	7,45 a	8,69 a	9,18 a
Nitossolo	150	7,69 a	9,2 a	10,86 a
Nitossolo	300	8,16 a	8,94 a	36,91 a
Nitossolo	450	9,95 a	20,84 a	61,62 b
Nitossolo	600	9,41 a	15,37 a	55,58 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se na Tabela 55 a análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas pelo teste F no nível de significância de 0,05. Nota-se que foi significativo para o LVd nos 40 e 60 DAS, para essa última coleta teve efeito mais não tem modelo estatístico para explicar esse comportamento, pois o R^2 apresentou valor baixo ($<0,80$). Para o NVdf apenas foi significativo na última coleta (60 DAS).

Tabela 55. Análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas

FV	SOLO	COLETA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	Latossolo	1	4	18,167	4,541	0,012	0,9997
Dose	Latossolo	2	4	48834,517	12208,629	33,334	0,0000
Dose	Latossolo	3	4	42314,563	10578,640	28,884	0,0000
Dose	Nitossolo	1	4	14,469	3,617	0,010	0,9998
Dose	Nitossolo	2	4	347,527	86,881	0,237	0,9161
Dose	Nitossolo	3	4	7154,376	1788,594	4,884	0,0018
Erro			60	21974,883	366,248		

1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

Na Figura 5 observa aumento da concentração do cálcio pela função quadrática com a aplicação crescente das doses de LIG, para o Latossolo em 40 DAS.

Guimarães et al. (2012) observou resposta linear para a aplicação do lodo de gelatina para os teores de cálcio na profundidade de 0-5 cm, em solos argiloso e arenoso.

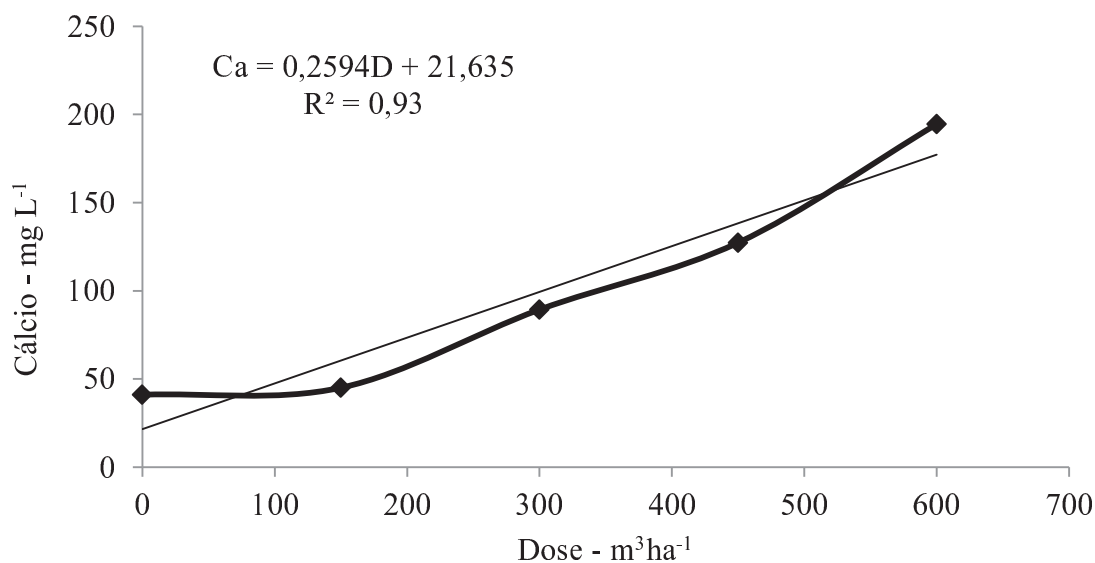


Figura 5. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no LVd em 40 DAS.

Na Figura 6 observa-se aumento da concentração do cálcio pela função linear com a aplicação crescente das doses de LIG, para o NVdf em 60 DAS.

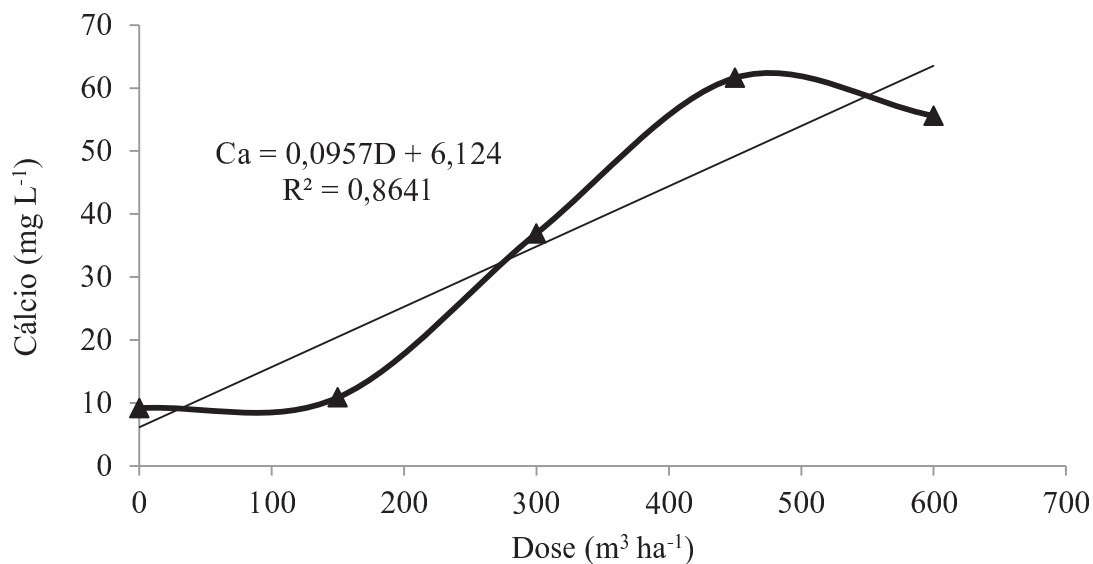


Figura 6. Valores médios de cálcio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.

Maggi et al. (2011) avaliaram efeito de doses crescentes de água residuária de suinocultura no percolado em lisímetros de drenagem, e observaram que a concentração de cálcio no percolado aumentou com as doses crescentes de ARS e reduziu com datas de coletas. Quanto às datas de coleta, os valores obtidos são discordantes, pois para o lodo de gelatina, a degradação desses ocorreu de forma lenta proporcionando uma maior disponibilização com o tempo.

4.2.3 Magnésio

Na Tabela 56 foi apresentada a análise de variância para o magnésio pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, coleta e dose foram significativas.

Tabela 56. Análise de variância para o magnésio, sob aplicação de LIG, Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	13397,064	13397,064	305,455	0,0000
Coleta	2	1239,045	619,522	14,125	0,0000
Dose	4	4565,802	1141,450	26,025	0,0000
Solo*coleta	2	2672,540	1336,270	30,467	0,0000
Solo*dose	4	2466,263	616,565	14,058	0,0000
Coleta*dose	8	2700,971	337,621	7,698	0,0000
Solo*coleta*dose	8	2540,080	317,510	7,239	0,0000
Erro	60	2631,564	43,859		

Na Tabela 57 foi apresentada a análise de variância do desdobramento do solo em relação à coleta e doses em nível de 5% pelo teste F, do magnésio no percolado.

Tabela 57. Análise de variância do desdobramento do solo em relação a coleta e doses.

FV	COLETA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0	1	763,430	763,430	17,406	0,0001
Solo	1	150	1	816,900	816,900	18,625	0,0001
Solo	1	300	1	629,350	629,350	14,349	0,0004
Solo	1	450	1	956,343	956,343	21,805	0,0000
Solo	1	600	1	947,024	947,024	21,592	0,0000
Solo	2	0	1	311,616	311,616	7,105	0,0099
Solo	2	150	1	362,703	362,703	8,270	0,0056
Solo	2	300	1	1856,096	1856,096	42,319	0,0000
Solo	2	450	1	3368,718	3368,718	76,807	0,0000
Solo	2	600	1	9287,387	9287,387	211,754	0,0000
Solo	3	0	1	0,828	0,828	0,019	0,8911
Solo	3	150	1	6,120	6,120	0,140	0,7100
Solo	3	300	1	1083,532	1083,532	24,705	0,0000
Solo	3	450	1	240,413	240,413	5,481	0,0226
Solo	3	600	1	445,481	445,481	10,157	0,0023
Erro			60	2631,564	43.859.412		

1 – 05/09/13; 2 – 26/09/13; 3 – 16/10/13.

Na Tabela 58 apresenta os valores médios de magnésio nos solos nas diferentes coletas e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 58. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) no percolado nos solos nas diferentes coletas e doses.

Coleta	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	SOLO	
		Latossolo	Nitossolo
1	0	24,42 a	1,86 b
1	150	25,61 a	2,27 b
1	300	22,82 a	2,3 b
1	450	26,93 a	1,68 b
1	600	26,33 a	1,20 b
2	0	16,06 a	1,65 b
2	150	17,27 a	1,72 b
2	300	36,86 a	1,63 b
2	450	51,22 a	3,83 b
2	600	82,47 a	3,79 b
3	0	3,53 a	4,28 a
3	150	4,10 a	2,08 a
3	300	32,08 a	5,2 b
3	450	25,75 a	13,09 b
3	600	33,77 a	16,53 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
Coletas: 1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS

Nota-se que os valores de Mg^{2+} foram superiores e diferentes no LVd em todas as coletas e nas doses de LIG, exceto para a testemunha ($0 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) e a dose de $150 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, ambas para em 60 DAS. Assim, a concentração de magnésio nos solos foi pequena, diante a quantidade que existia no lodo ($199 \text{ mg L}^{-1} - \text{Mg}^{2+}$) a percolação desse nutriente pode ser verificada na Tabela 58.

Marques (2009) avaliou o efeito das doses crescentes da manipueira no percolado, e verificou que a concentração de magnésio foi superior e diferente no Latossolo em relação ao Vertissolo e o Neossolo.

Na Tabela 59, é apresentada a análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses, ao nível de 0,05 de significância pelo teste F.

Tabela 59. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
DAS	1	0	2	662,864	331,432	7,557	0,0011
DAS	1	150	2	705,222	352,611	8,040	0,0008
DAS	1	300	2	305,436	152,718	3,482	0,0361
DAS	1	450	2	1239,608	619,804	14,132	0,0000
DAS	1	600	2	5580,141	2790,070	63,614	0,0000
DAS	2	0	2	12,817	6,408	0,146	0,8652
DAS	2	150	2	0,475	0,237	0,005	0,9951
DAS	2	300	2	21,048	10,524	0,240	0,7871
DAS	2	450	2	220,743	110,371	2,516	0,0873
DAS	2	600	2	404,279	202,139	4,609	0,0133
Erro			60	2631,564	43,859		

SOLO: 1 -Latossolo; 2 -Nitossolo.

Na Tabela 60 apresenta os valores médios de Mg nas coletas em relação ao solo e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 60. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) no percolado nas coletas em relação ao solo e as doses.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Coletas		
		20 DAS	40 DAS	60 DAS
1	0	24,42 a	16,06 ab	3,53 b
1	150	25,61 a	17,27 a	4,10 b
1	300	22,82 a	36,86 b	32,08 ab
1	450	26,93 a	51,22 b	25,75 a
1	600	26,33 a	82,47 b	33,77 a
2	0	1,86 a	1,65 a	4,28 a
2	150	2,27 a	1,72 a	2,08 a
2	300	2,34 a	1,68 a	5,20 a
2	450	1,68 a	3,83 a	13,06 a
2	600	1,20 a	3,79 ab	16,53

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
SOLO: 1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

Observa-se na Tabela 61 a análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas pelo teste F ao nível de significância de 0,05. Nota-se que foi significativo para o LVd em 40 e 60 DAS, para essa última coleta teve efeito mais não tem modelo estatístico para explicar esse comportamento. Para o NVdf apenas foi significativo na última coleta (60 DAS).

Tabela 61. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas.

FV	SOLO	COLETA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	Latossolo	1	4	32,063	8,015	0,183	0,9463
Dose	Latossolo	2	4	9079,817	2269,954	51,755	0,0000
Dose	Latossolo	3	4	2676,860	669,217	15,258	0,0000
Dose	Nitossolo	1	4	2,598	0,649	0,015	0,9995
Dose	Nitossolo	2	4	16,274	4,068	0,093	0,9843
Dose	Nitossolo	3	4	465,504	116,376	2,653	0,0413
Erro			60	2631,564	43,859		

1 - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3 - 60 DAS.

Na Figura 7 observa o aumento da concentração de magnésio pela função quadrática com a aplicação crescente das doses de LIG, para o LVd em 40 DAS.

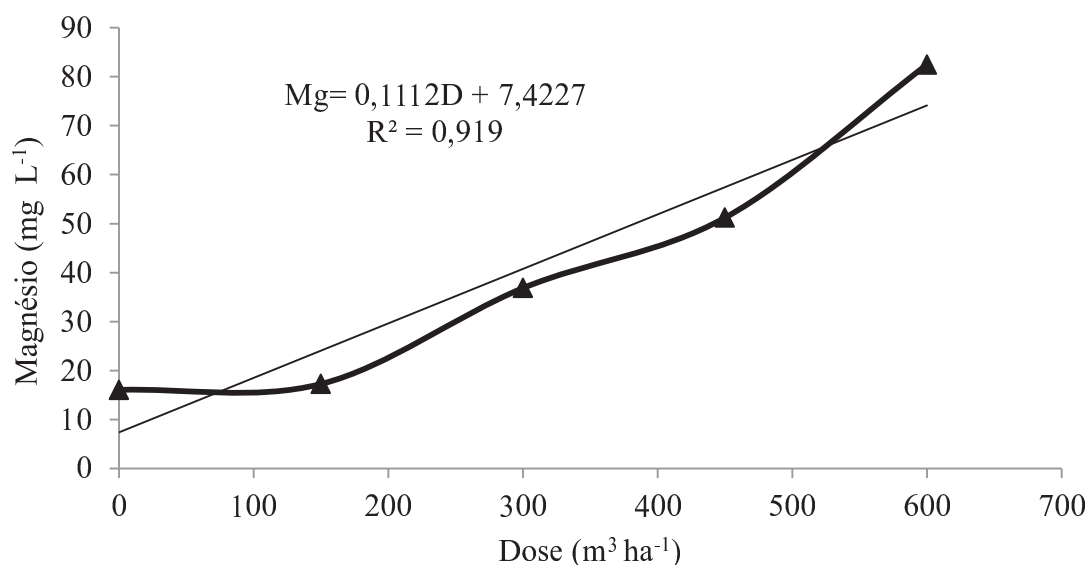


Figura 7. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS

Resultados obtidos por Maggi et al. (2011) em estudo da concentração de magnésio no percolado, o F não foi significativo para qualquer um dos fatores avaliados. Ou seja, as concentrações de magnésio no material percolado não foram influenciadas pelas taxa de ARS, nem pela adubação, bem como por suas interações ou pelas datas de coletas.

Na Figura 8 observa-se aumento da concentração de magnésio pela função linear com a aplicação crescente das doses de LIG, para o NVdf 60 DAS.

Segundo Guimarães (2009) a resposta foi linear para a aplicação do lodo de gelatina para os teores de magnésio na profundidade de 0 – 5 cm.

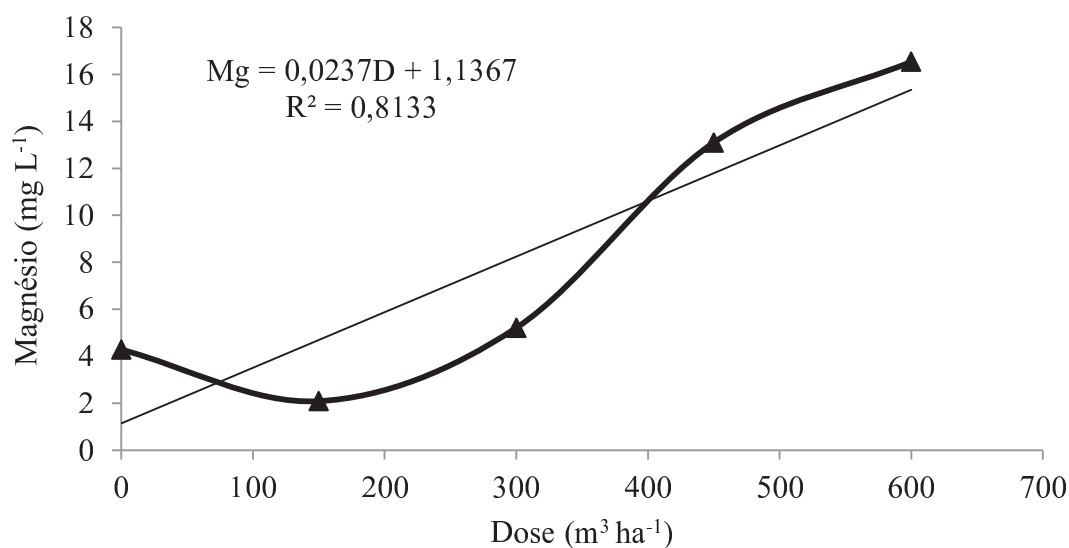


Figura 8. Valores médios de magnésio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no Nitossolo em 60 DAS.

4.2.4 Potássio

Na Tabela 62 foi apresentada a análise de variância para o potássio pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, coleta e dose foram significativas.

Tabela 62. Análise de variância para o potássio sob aplicação de LIG, Maringá – PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	453,377	453,377	74,601	0,0000
Coleta	2	11,643	5,821	0,958	0,3895
Dose	4	521,515	130,378	21,453	0,0000
Solo*coleta	2	85,238	42,619	7,013	0,0018
Solo*dose	4	193,160	48,290	7,946	0,0000
Coleta*dose	8	299,969	37,496	6,170	0,0000
Solo*coleta*dose	8	108,224	13,528	2,226	0,0377
Erro	60	364,640	6,077		

A Tabela 63 apresentará a análise de variância do desdobramento do solo em relação à coleta e doses em nível de 5% pelo teste F, para o potássio no percolado.

Tabela 63. Análise de variância do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses.

FV	COLETA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0	1	77,760	77,760	12,795	0,0007
Solo	1	150	1	64,026	64,026	10,535	0,0019
Solo	1	300	1	47,040	47,040	7,740	0,0072
Solo	1	450	1	40,560	40,560	6,674	0,0122
Solo	1	600	1	82,140	82,140	13,516	0,0005
Solo	2	0	1	0,960	0,960	0,158	0,6924
Solo	2	150	1	0,960	0,960	0,158	0,6924
Solo	2	300	1	58,906	58,906	9,693	0,0028
Solo	2	450	1	79,206	79,206	13,033	0,0006
Solo	2	600	1	188,160	188,160	30,961	0,0000
Solo	3	0	1	4,166	4,166	0,686	0,4109
Solo	3	150	1	8,640	8,640	1,422	0,2378
Solo	3	300	1	3,226	3,226	0,531	0,4690
Solo	3	450	1	0,540	0,540	0,089	0,7667
Solo	3	600	1	183,706	183,706	30,228	0,0000
Erro			60	364,640	6,077		

1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS..

A Tabela 64 apresenta os valores médios de potássio nos solos nas diferentes coletas e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 64. Valores médios de K⁺ (mg L⁻¹) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses.

Coleta	Dose (m ³ ha ⁻¹)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
1	0	9,20 a	2,00 b
1	150	8,90 a	2,40 b
1	300	7,60 a	2,00 b
1	450	8,00 a	2,80 b
1	600	10,33 a	2,93 b
2	0	2,53 a	1,73 a
2	150	2,93 a	2,13 a
2	300	8,06 a	1,80 b
2	450	10,06 a	2,80 b
2	600	13,60 a	2,40 b
3	0	0,13 a	1,80 a
3	150	0,00 a	2,40 a
3	300	5,33 a	3,86 a
3	450	7,33 a	6,73 a
3	600	19,26 a	8,2 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

Observa-se que a quantidade de K^+ existente no resíduo (16 mg L^{-1}) não apresentou efeito nos solos. No entanto, no percolado do LVd foi superior e diferente em relação ao percolado do Nitossolo, isso aconteceu até a segunda coleta (40 DAS), já a partir da terceira coleta o K^+ não apresentou efeito nos dois solos, exceto para a maior dose ($600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) onde o percolado do LVd foi superior e diferente do percolado do NVdf.

Na Tabela 65 observa-se a análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses, ao nível de 0,05 de significância pelo teste F.

Tabela 65. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coleta	1	0	2	132,408	66,204	10,894	0,0001
Coleta	1	150	2	124,408	62,204	10,235	0,0001
Coleta	1	300	2	12,826	6,413	1,055	0,3505
Coleta	1	450	2	12,186	6,093	1,003	0,3690
Coleta	1	600	2	122,586	61,293	10,086	0,0002
Coleta	2	0	2	0,115	0,057	0,010	0,9913
Coleta	2	150	2	0,142	0,0711	0,012	0,9893
Coleta	2	300	2	7,795	3,897	0,641	0,5268
Coleta	2	450	2	30,942	15,471	2,546	0,0849
Coleta	2	600	2	61,662	30,831	5,073	0,0089
Erro			60	364,640	6,077		

SOLO: 1 -Latossolo; 2 -Nitossolo.

A Tabela 66 apresenta os valores médios de potássio nas coletas em relação ao solo e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 66. Valores médios de K^+ (mg L^{-1}) no percolado referente as coletas em relação ao solo e as doses.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Coleta		
		20 DAS	40 DAS	60 DAS
1	0	9,20 a	2,53 b	0,13 b
1	150	8,93 a	2,93 b	0,00 b
1	300	7,60 a	8,06 a	5,33 a
1	450	8,00 a	10,06 a	7,33 a
1	600	10,33 a	13,60 a	19,26 b
2	0	1,73 a	1,80 a	2,00 a
2	150	2,40 a	2,40 a	2,13 a
2	300	2,00 a	1,80 a	3,86 a
2	450	2,80 a	2,80 a	6,73 a
2	600	2,93	2,40 a	8,20 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

Observa-se na Tabela 70 a análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas pelo teste F ao nível de significância de 0,05. Nota-se que foi significativo para o LVd em 40 e 60 DAS. Para o NVdf apenas foi significativo na última coleta (60 DAS).

Tabela 67. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas.

FV	SOLO	COLETA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	Latossolo	1	4	13,824	3,456	0,569	0,6858
Dose	Latossolo	2	4	268,869	67,217	11,060	0,0000
Dose	Latossolo	3	4	743,370	185,842	30,580	0,0000
Dose	Nitossolo	1	4	2,282	0,570	0,094	0,9840
Dose	Nitossolo	2	4	2,336	0,584	0,096	0,9832
Dose	Nitossolo	3	4	92,186	23,046	3,792	0,0081
Erro			60	364,640	6,077		

1 - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3 - 60 DAS..

A concentração de K^+ no percolado aumentou com a aplicação das doses crescentes do LIG, referente ao LVd em 40 DAS, portanto, foi possível estabelecer um modelo de regressão linear crescente (Figura 9). Os resultados corroboram com os obtidos por Maggi et al. (2011), onde os tratamentos que receberam adubação na semeadura apresentaram maiores concentrações de K^+ no percolado ($133,48 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto o sem adubação apresentaram menores valores ($84,94 \text{ mg L}^{-1}$). Segundo os autores, isso ocorreu devido ao fato que o K^+ é um elemento móvel no solo e que está sujeito a lixiviação, e estes serão tanto maior quanto mais expressiva for a presença, em solução, de ânions com menor capacidade de adsorção. Essa maior lixiviação nos tratamentos que receberam adubação química na semeadura ocorreu pelo fato que o potássio usado na adubação foi aplicado na forma de KCl (cloreto de potássio), e esse nutriente, quando aplicado na forma KCl , sofre maior lixiviação do que quando aplicado na forma K_2SO_4 (sulfato de potássio), ânion com maior capacidade de absorção do que o KCl , ou de $KAlSiO_4$ (kalsilita) que além de apresentar baixa solubilidade em água contém o ânion SiO_4^- que é mais fortemente adsorvido pelo $H_2PO_4^-$.

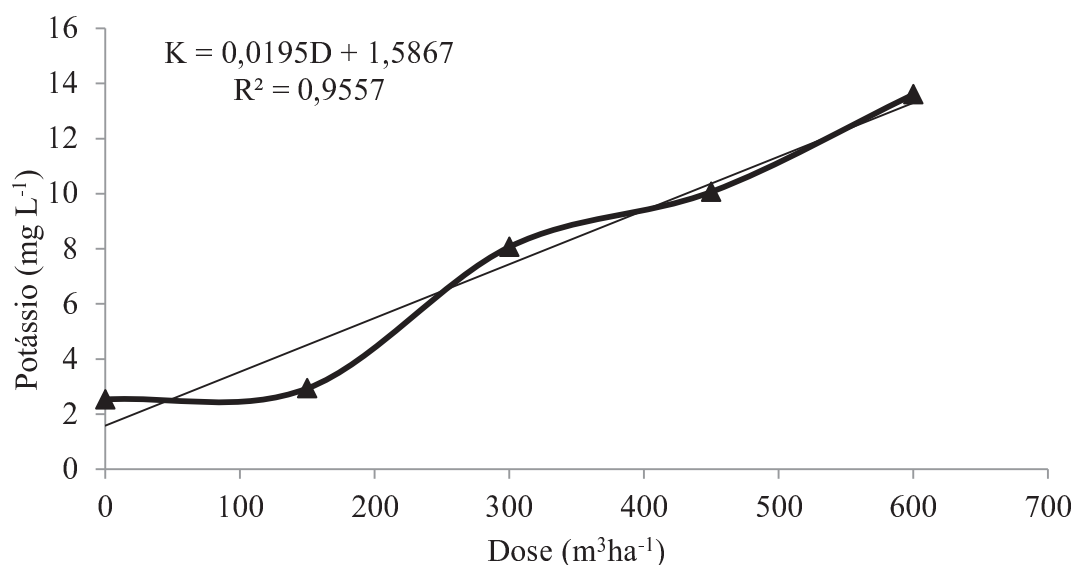


Figura 9. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolado referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS

Também Caovilla et al. (2010) estudando a percolação de nutrientes em colunas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária de suinocultura, verificaram que o nitrato apresentou maior mobilidade no processo de lixiviação, seguido da concentração de sais totais e, posteriormente, do potássio, proporcionalmente aos tratamentos avaliados. De modo geral, o tratamento que apresentou 75% de água residuária revelou, nos lixiviados, os maiores níveis de concentrações de nitrato, potássio e concentrações de sais.

Na Figura 10 observa-se a concentração de K^+ referente ao LVd em 60 DAS. No entanto, foi possível estabelecer o modelo de regressão quadrática para as doses crescentes de LIG.

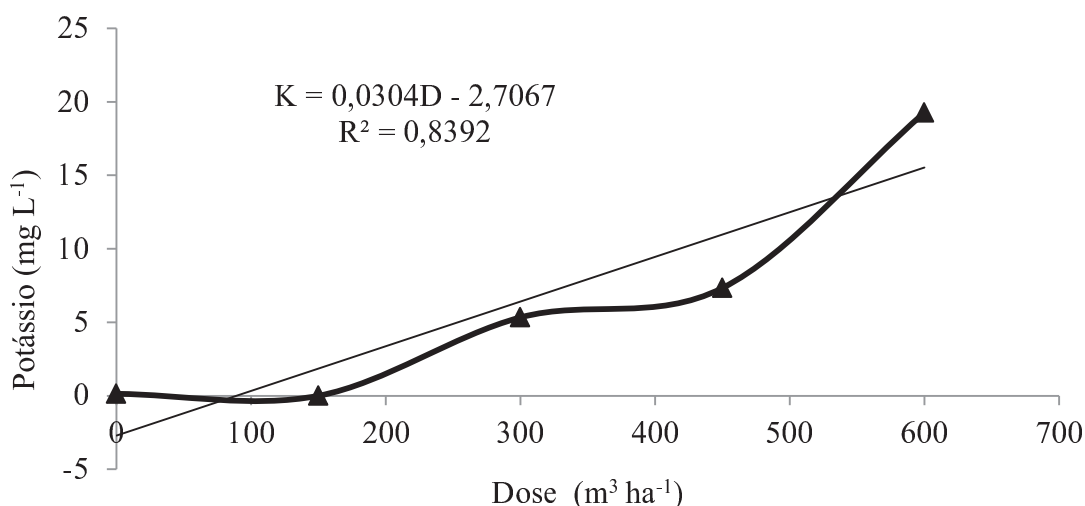


Figura 10. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolato referente aos tratamentos no Latossolo em 60 DAS.

Para a concentração de potássio no NVdf (60 DAS), foi estabelecido o modelo de regressão linear crescente (Figura 11).

O K^+ possui baixa reatividade em relação ao solo, ocorrendo assim a maior mobilidade desse elemento no percolato (BERTOL, 2005). Portanto, quanto maior a valência do íon, maior a sua predisposição ao se fixar no solo: $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{H}^+$ (RAIJ, 1981).

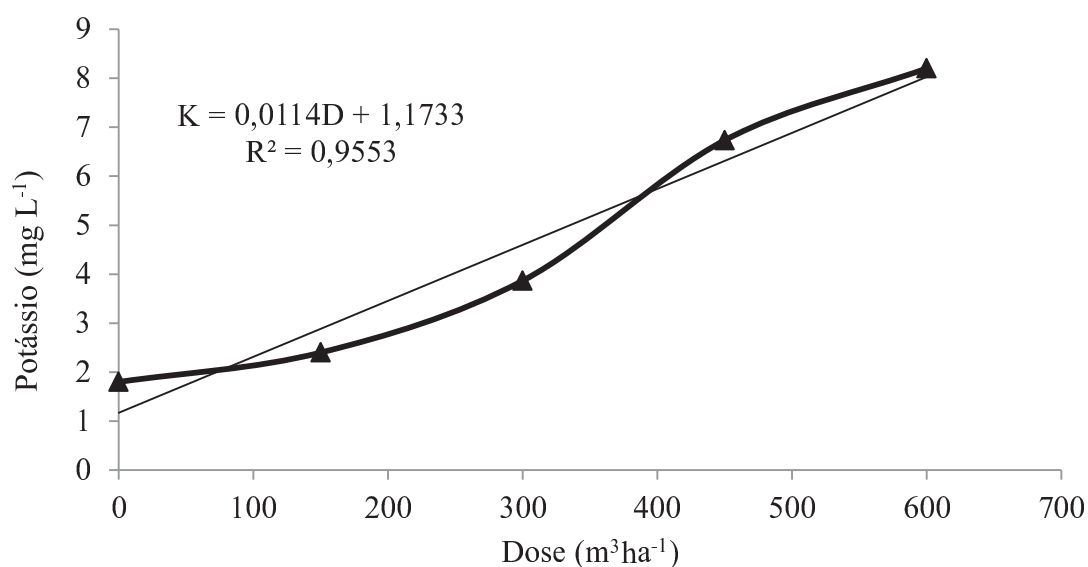


Figura 11. Valores médios de potássio (mg L^{-1}) no percolato referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.

4.2.5 Sódio

Na Tabela 68 será apresentada a análise de variância para o sódio pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, coleta e dose foram significativas.

Tabela 68. Análise de variância para o sódio no percolado sob aplicação de LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	14573,306	14573,306	48,719	0,0000
Coleta	2	15841,535	7920,767	26,479	0,0000
Dose	4	34104,912	8526,228	28,503	0,0000
Solo*coleta	2	5817,328	2908,664	9,724	0,0002
Solo*dose	4	10585,993	2646,498	8,847	0,0000
Coleta*dose	8	19699,251	2462,406	8,232	0,0000
Solo*coleta*dose	8	18525,596	2315,699	7,741	0,0000
Erro	60	17947,843	299,130		

Na Tabela 69 representa a análise de variância do desdobramento do solo em relação à coleta e doses a nível de 5% pelo teste F, para o sódio no percolado.

Tabela 69. Análise de variância do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses

FV	COLETA	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0	1	29,437	29,437	0,098	0,7548
Solo	1	150	1	54,782	54,782	0,183	0,6702
Solo	1	300	1	51,450	51,450	0,172	0,6798
Solo	1	450	1	54,060	54,060	0,181	0,6723
Solo	1	600	1	36,260	36,260	0,121	0,7289
Solo	2	0	1	0,510	0,510	0,002	0,9672
Solo	2	150	1	17,476	17,476	0,058	0,8098
Solo	2	300	1	176,041	176,041	0,589	0,4460
Solo	2	450	1	4425,993	4425,993	14,796	0,0003
Solo	2	600	1	36017,352	36017,352	120,407	0,0000
Solo	3	0	1	0,126	0,126	0,000	0,9837
Solo	3	150	1	77,256	77,256	0,258	0,6132
Solo	3	300	1	5713,420	5713,420	19,100	0,0001
Solo	3	450	1	1751,041	1751,041	5,854	0,0186
Solo	3	600	1	1097,012	1097,012	3,667	0,0603
Erro			60	17947,843	299,130		

I - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3 - 60 DAS

A Tabela 70 apresenta os valores médios de sódio no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

A concentração de Na⁺ do resíduo (583 mg L⁻¹) teve efeito no percolado do LVd. No entanto, as doses de 400 e 600 m³ ha⁻¹ em 40 DAS e nas doses 300 e 450 m³ ha⁻¹ em 60 DAS foi diferente e superior no percolado do LVd em relação ao percolado do Nitossolo.

Tabela 70. Valores médios de sódio (mg L⁻¹) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses

Coleta	Dose (m ³ ha ⁻¹)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
1	0	5,00 a	0,57 a
1	150	6,58 a	0,54 a
1	300	6,58 a	0,72 a
1	450	6,54 a	0,54 a
1	600	5,50 a	0,58 a
2	0	1,42 a	0,83 a
2	150	4,21 a	0,79 a
2	300	11,83 a	1,00 a
2	450	56,08 a	1,76 b
2	600	156,29 a	1,33 b
3	0	0,92 a	0,63 a
3	150	8,01 a	0,83 a
3	300	66,26 a	4,53 b
3	450	72,87 a	38,71 b
3	600	94,42 a	67,37 a

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
1 - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3 - 60 DAS.

Na Tabela 71, observa-se a análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses, ao nível de 0,05 de significância pelo teste F.

Tabela 71. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coleta	1	0	2	29,712	14,856	0,050	0,9532
Coleta	1	150	2	22,114	11,057	0,037	0,9653
Coleta	1	300	2	6550,801	3275,400	10,950	0,0001
Coleta	1	450	2	7135,784	3567,892	11,928	0,0000
Coleta	1	600	2	34472,107	17236,053	57,620	0,0000
Coleta	2	0	2	0,117	0,058	0,000	0,9998
Coleta	2	150	2	0,149	0,074	0,000	0,9998
Coleta	2	300	2	27,175	13,587	0,045	0,9572
Coleta	2	450	2	2823,000	1411,500	4,719	0,0121
Coleta	2	600	2	8822,748	4411,374	14,747	0,0000
Erro			60	17947,843	299,130		

SOLO: 1 -Latossolo; 2 -Nitossolo.

Na Tabela 72 apresenta os valores médios de sódio no percolado referente às coletas em relação ao solo e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 72. Valores médios de sódio (mg L^{-1}) no percolado referente as coletas em relação ao solo e as doses.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Coletas		
		20 DAS	40 DAS	60 DAS
1	0	5,00 a	1,42 a	0,92 a
1	150	6,58 a	4,21 a	8,01 a
1	300	6,59 a	11,83 a	66,26 b
1	450	6,54 a	56,08 b	72,87 b
1	600	5,50 a	94,42 a	156,29 c
2	0	0,57 a	0,63 a	0,83 a
2	150	0,54 a	0,79 a	0,83 a
2	300	0,72 a	1,00 a	4,54 a
2	450	0,54 a	1,76 a	38,71 b
2	600	0,58 a	1,33 a	67,37 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

Observa-se na Tabela 73 a análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e as coletas pelo teste F ao nível de significância de 0,05. Nota-se que foi significativo para o LVd aos 40 e 60 DAS. Para o NVdf apenas foi significativo na última coleta (60 DAS).

Tabela 73. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e as coletas

FV	SOLO	COLETA	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	Latossolo	1	4	6,660	1,665	0,006	0,9999
Dose	Latossolo	2	4	51.501,808	12875,452	43,043	0,0000
Dose	Latossolo	3	4	20.764,747	5191,186	17,354	0,0000
Dose	Nitossolo	1	4	0,070	0,017	0,000	10,000
Dose	Nitossolo	2	4	1,978	0,494	0,002	10,000
Dose	Nitossolo	3	4	10640,488	2660,122	8,893	0,0000
Erro			60	17947,843	299,130		

1 - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3 - 60 DAS.

A concentração de Na no percolado aumentou com a aplicação das doses crescentes do LIG, referente ao LVd em 40 DAS, portanto, não foi possível estabelecer um modelo estatístico. Cabe salientar que altos teores de sódio são geralmente encontrados nas águas residuárias das indústrias de gelatina que utilizam raspas e aparas de couro como matéria prima (TANIGUCHI, 2010), como é o caso da água residuária utilizada neste estudo. Além de

estar em altas concentrações no lodo aplicado ao solo, o sódio pode ser facilmente lixiviado, devido a sua característica de baixa afinidade no complexo de troca do solo, permanecendo principalmente na solução do solo (LEAL et al., 2009).

Na Figura 12 nota-se a concentração de sódio referente ao LVd aos 60 DAS. Contudo, foi possível estabelecer o modelo de regressão linear crescente para a aplicação das doses de LIG.

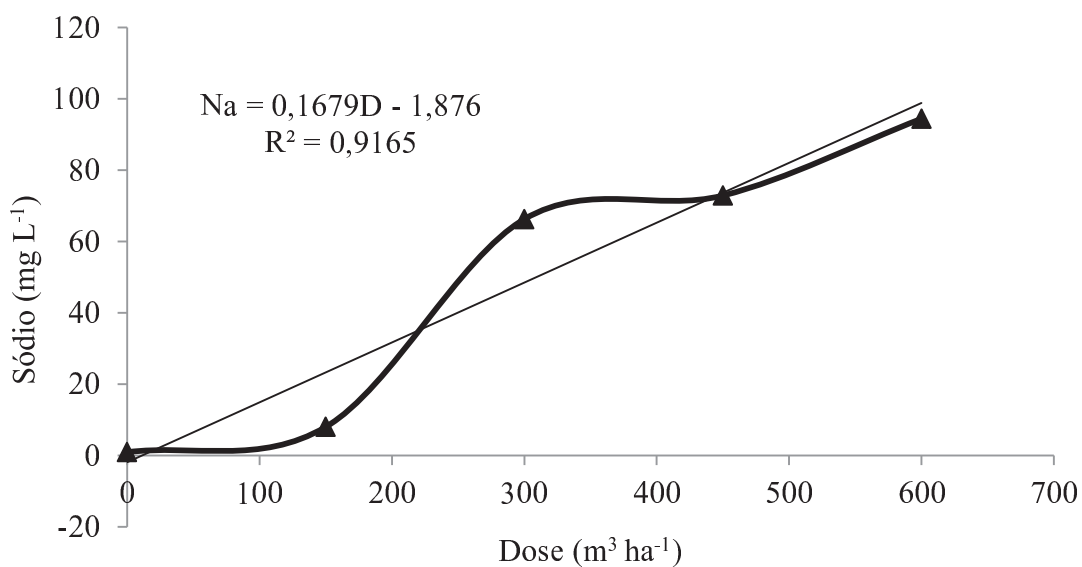


Figura 12. Valores médios de sódio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos do Latossolo em 60 DAS.

Para a concentração de sódio no NVdf (60 DAS), foi estabelecido o modelo de regressão quadrática (Figura 13).

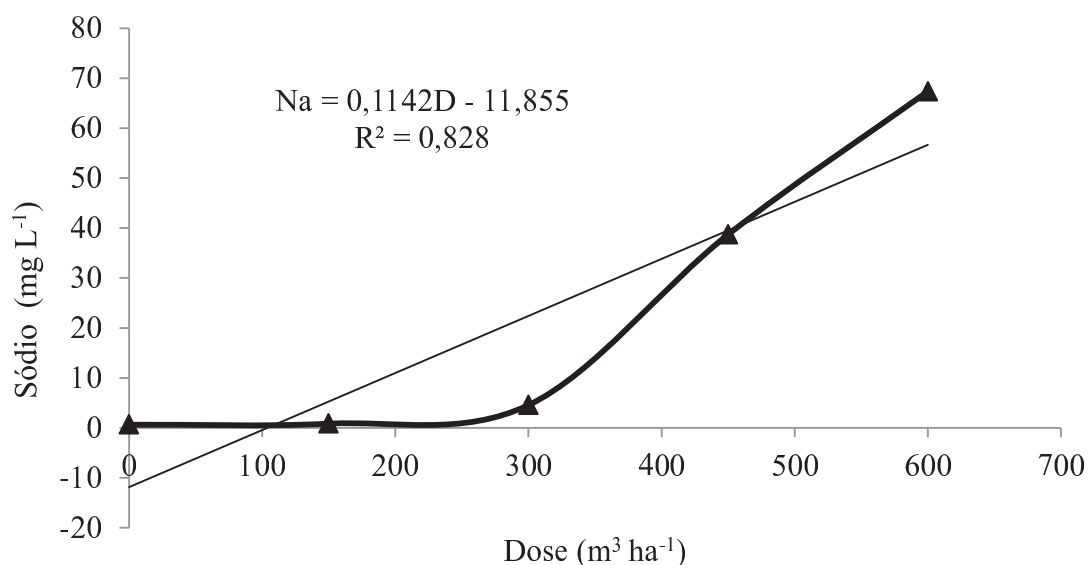


Figura 13. Valores médios de sódio (mg L^{-1}) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.

4.2.6 Condutividade elétrica

A Tabela 74 representa a análise de variância para a condutividade elétrica (CE) pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação solo, coleta e dose foram significativas.

Tabela 74. Análise de variância para a condutividade elétrica, sob aplicação de LIG. Maringá-PR

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	12920868,900	12920868,900	172,082	0,0000
Coleta	2	1636646,600	818323,300	10,899	0,0001
Dose	4	1911000,933	2477750,233	32,999	0,0000
Solo*coleta	2	1421142,466	710571,233	9,463	0,0003
Solo*dose	4	3699998,044	924999,511	12,319	0,0000
Coleta*dose	8	5174079,733	646759,966	8,614	0,0000
Solo*coleta*dose	8	2837238,755	354654,844	4,723	0,0002
erro	60	4505142,666	75085,711		

Na Tabela 75 representa a análise de variância do desdobramento do solo em relação à coleta e doses a nível de 5% pelo teste F, para a CE.

Tabela 75. Análise de variâncias do desdobramento do solo em relação aos solos e as doses.

FV	Coleta	Dose	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	1	0	1	576600,000	576600,000	7,679	0,0074
Solo	1	150	1	548432,666	548432,666	7,304	0,0089
Solo	1	300	1	732901,500	732901,500	9,761	0,0027
Solo	1	450	1	622748,166	622748,166	8,294	0,0055
Solo	1	600	1	623392,666	623392,666	8,302	0,0055
Solo	2	0	1	117880,166	117880,166	1,570	0,2151
Solo	2	150	1	393728,166	393728,166	5,244	0,0256
Solo	2	300	1	661344,000	661344,000	8,808	0,0043
Solo	2	450	1	3592908,166	3592908,166	47,851	0,0000
Solo	2	600	1	9591232,666	9591232,666	127,737	0,0000
Solo	3	0	1	661,500	661,500	0,009	0,9255
Solo	3	150	1	1980,166	1980,166	0,026	0,8715
Solo	3	300	1	946448,166	946448,166	12,605	0,0008
Solo	3	450	1	703152,666	703152,666	9,365	0,0033
Solo	3	600	1	1765837,500	1765837,500	23,518	0,0000
Erro			60	4505142,666	75085,711		

1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

A Tabela 76 apresenta os valores médios de CE no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Dieter et al. (2007) avaliando a qualidade do lixiviado de solos submetidos à aplicação de ARS, observaram que os índices de condutividade elétrica (CE) no lixiviado aumentaram com o aumento da aplicação, sem, porém, apresentarem problemas de contaminação do lençol freático.

A condutividade elétrica no resíduo ($14640 \mu\text{S cm}^{-1}$) teve efeito sobre o percolado nos dois solos, seguindo a maior concentração no percolado do LVd. Nota-se que com a aplicação das doses crescentes de LIG a CE foi maior, principalmente ao longo do ciclo do desenvolvimento do milho.

Tabela 76. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no percolado referente aos solos nas diferentes coletas e doses.

Coleta	Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Solo	
		Latossolo	Nitossolo
1	0	704,00 a	84,00 b
1	150	691,33 a	86,66 b
1	300	789,66 a	90,66 b
1	450	751,66 a	107,33 b
1	600	744,00 a	99,33 b
2	0	370,66 a	90,33
2	150	605,33 a	93,00 b
2	300	7688,66 a	104,66 b
2	450	1747,66 a	200,00 b
2	600	2680,00 a	151,33 b
3	0	110,33 a	89,33 a
3	150	143,33 a	107,00 a
3	300	1168,33 a	374,00 b
3	450	1401,33 a	716,66 b
3	600	2073,66 a	988,66 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
1 – 20 DAS; 2 – 40 DAS; 3 – 60 DAS.

Na Tabela 77 observa-se a análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses, ao nível de 0,05 de significância pelo teste F.

Tabela 77. Análise de variância do desdobramento da coleta em relação aos solos e as doses.

FV	SOLO	DOSE	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Coleta	1	0	2	531324,666	265662,333	3,538	0,0343
Coleta	1	150	2	521144,000	260572,000	3,470	0,0365
Coleta	1	300	2	303562,888	151781,444	2,021	0,1387
Coleta	1	450	2	1534029,555	767014,777	10,215	0,0001
Coleta	1	600	2	5883749,555	2941874,777	39,180	0,0000
Coleta	2	0	2	69,555	34,777	0,000	0,9996
Coleta	2	150	2	649,555	324,777	0,004	0,9961
Coleta	2	300	2	153014,222	76507,111	1,019	0,3632
Coleta	2	450	2	646818,666	323409,333	4,307	0,0173
Coleta	2	600	2	1494744,888	747372,444	9,954	0,0002
Erro			60	4505142,666	75085,711		

SOLO: 1 -Latossolo; 2 -Nitossolo.

Na Tabela 78 apresenta os valores médios de CE no percolado nas coletas em relação ao solo e as doses, pela diferença estatística do teste de Tukey 5%.

Tabela 78. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no percolado referente nas coletas em relação ao solo e as doses.

Solo	Dose ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Coleta		
		20 DAS	40 DAS	60 DAS
1	0	704,00 a	370,66 ab	110,33 b
1	150	691,33a	605,33 ab	143,33 b
1	300	789,66 a	768,66 a	1168,33 a
1	450	751,66 a	1747,66 b	1401,33 b
1	600	744,00 a	2680 b	2073,66 c
2	0	84,00 a	90,33 a	89,33 a
2	150	86,66 a	93,00 a	107,00 a
2	300	90,66 a	104,66 a	374,00 a
2	450	107,33 a	200,00ab	716,66 b
2	600	99,33 a	151,33 a	988,66 b

Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
SOLO: 1 - Latossolo; 2 - Nitossolo.

Maggi et al. (2013) observaram a redução da CE no percolado na aplicação de água residuária de suinocultura ao longo das coletas, foi justificado pela única aplicação desse resíduo.

Observa-se na Tabela 79 a análise de variância do desdobramento das doses em relação aos solos e às coletas pelo teste F ao nível de significância de 0,05. Percebe-se que foi significativo para o LVd aos 40 e 60 DAS. Para o NVdf apenas foi significativo na última coleta (60 DAS).

Tabela 79. Análise de variância do desdobramento da dose em relação aos solos e às coletas.

FV	SOLO	COLETA	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Dose	1	1	4	18625,733	4656,433	0,062	0,9927
Dose	1	2	4	11135609,066	2783902266,667	37,076	0,0000
Dose	1	3	4	8596282,266	2149070,566	28,622	0,0000
Dose	2	1	4	1110,933.	277,733	0,004	10,000
Dose	2	2	4	26749,733	6687,433	0,089	0,9855
Dose	2	3	4	1843939,733	460984,933	6,139	0,0003
Erro			60	4505142,666	75085,711		

1 - 20 DAS; 2 - 40 DAS; 3- 60 DAS.

A CE no percolado aumentou com a aplicação das doses crescentes do LIG, referente ao LVd aos 40 DAS, portanto, foi possível estabelecer um modelo de regressão quadrática (Figura 14).

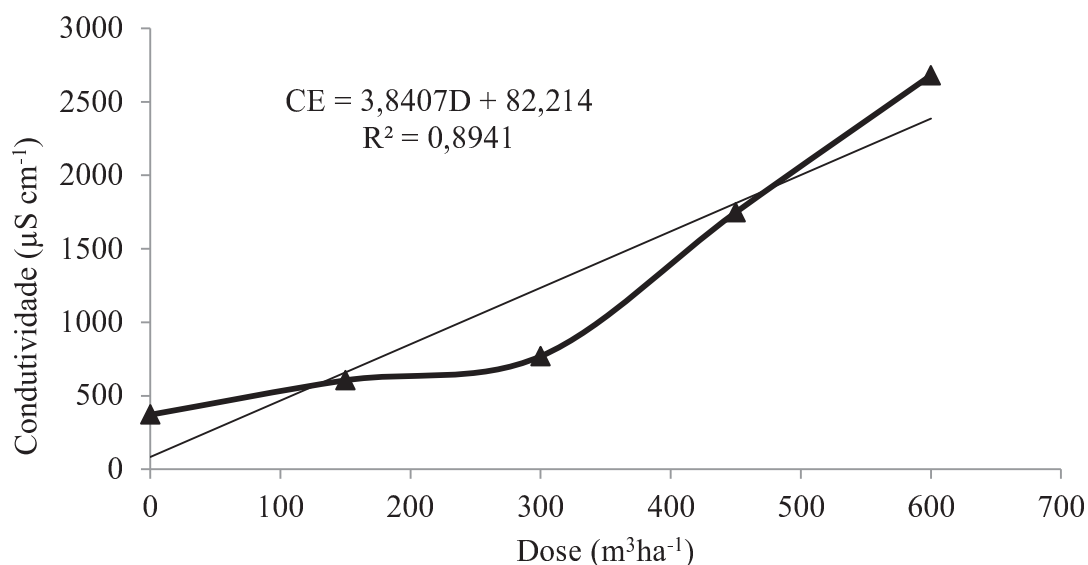


Figura 14. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no Latossolo em 40 DAS.

Freitas (2001) verificou aumento da CE dos efluentes aos 137 dias após a semeadura, com a água tratada, água residuária bruta e água residuária peneirada, evidenciando o acúmulo de sais no solo.

Na Figura 15 observa-se a CE referente ao LVd aos 60 DAS. Contudo, foi possível estabelecer o modelo de regressão linear crescente para a aplicação das doses de LIG.

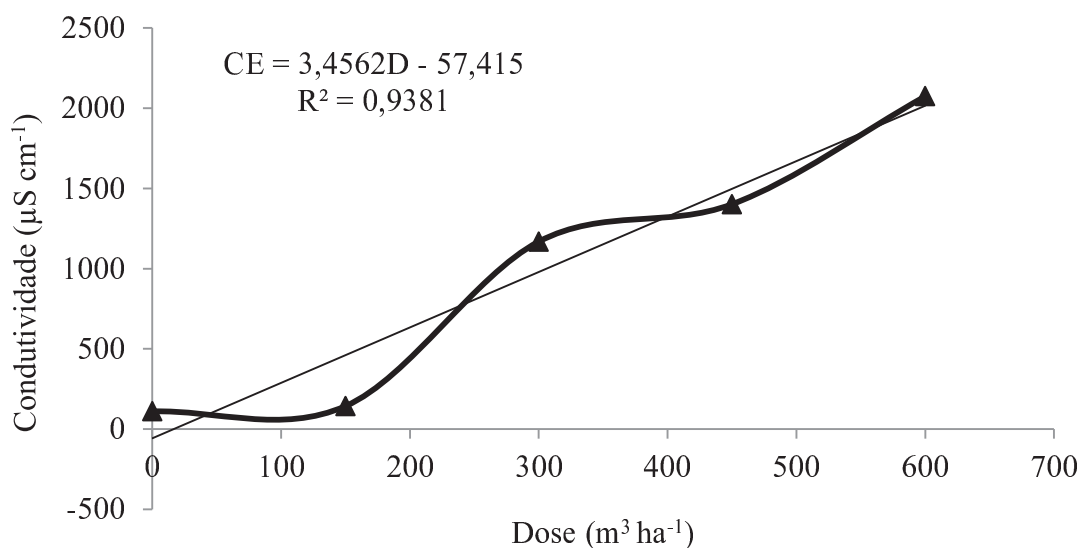


Figura 15. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no Latossolo em 60 DAS.

A condutividade elétrica no NVdf (60 DAS) foi estabelecida o modelo de regressão linear crescente (Figura 16).

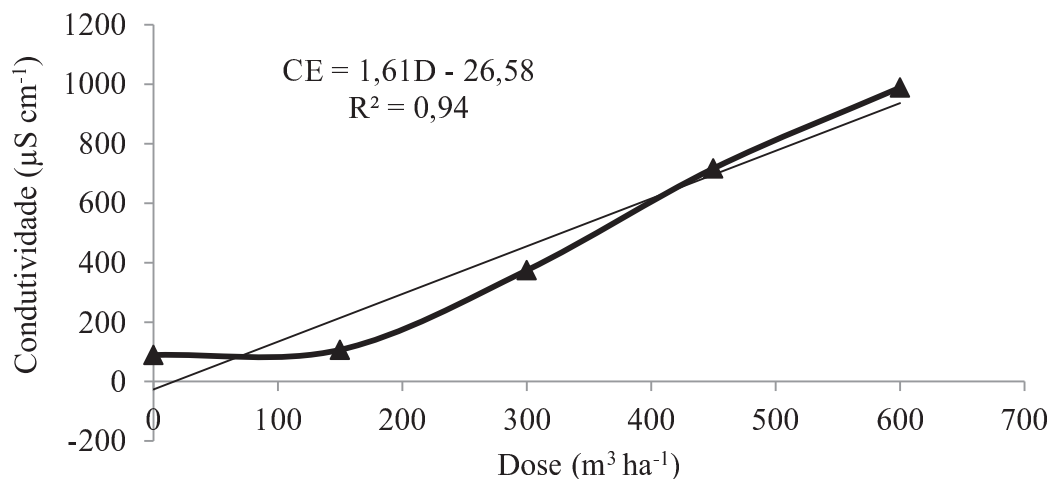


Figura 16. Valores médios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) referente aos tratamentos no NVdf em 60 DAS.

Caovilla et al. (2010) observaram um aumento da CE com um aumento da taxa de aplicação de água residuária de suinocultura no percolado.

A alta mobilidade de íons (Na^+ , K^+ , entre outros) presente na água residuária ou nos lodos tem a tendência de aumentar os valores da CE no percolado.

4.2.7 Fósforo e Nitrogênio

Os valores de fósforo e nitrogênio foram feitos, no entanto, não foi encontrado no percolado, nos três períodos de coleta, ou seja, a aplicação das doses crescente de lodo de indústria de gelatina não influenciou na percolação do P e do N durante as três coletas.

Prior et al., (2009) avaliando o solo e o percolado submetidos à aplicação de ARS, observaram que as maiores lâminas ($450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) apresentaram maior acúmulo de fósforo no solo, já no percolado, os índices de fósforo encontrados não apresentaram riscos de contaminação para os mananciais.

4.3 Índice de área foliar (IAF) e matéria seca (MS)

Na Tabela 80 foi apresentada a análise de variância para o IAF em nível de 0,05 pelo teste F, em que a interação dose e solo foi significativa.

Tabela 80. Análise de variância para o IAF do milho sob aplicação LIG, Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Dose	4	2,767	0,691	4,821	0,0016
Solo	1	5,059	5,059	35,264	0,0000
Dose*solos	4	2,217	0,554	3,863	0,0064
Erro	80	11,479	0,143490		

Em seguida, na Figura 17, será exibido o comportamento do índice da área foliar em relação à aplicação das doses, com isso, foi possível estabelecer um modelo de regressão linear decrescente.

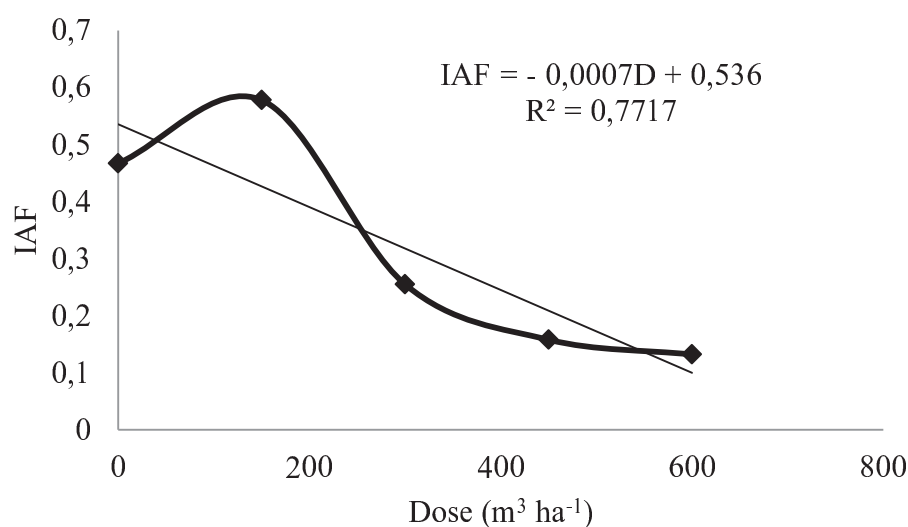


Figura 17. Valores médios de IAF em relação as doses aplicadas

Brito et al. (2010) avaliaram doses de nitrogênio para o índice de área foliar do milho e obtiveram comportamento linear depois de 80 dias após o plantio na maioria dos tratamentos, ou seja a testemunha mostrou IAF inferior aos tratamentos.

A análise de variância para a MS pelo nível de 0,05 pelo teste F, em que o solo foi significativo, será apresentada na Tabela 81.

Tabela 81. Análise de variância para a MS de milho cultivado com LIG. Maringá-PR.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Solo	4	7181,174	7181,174	102,392	0,000
Dose	1	446,706	111,676	1,592	0,215
Solo*Dose	4	413,724	103,431	1,475	0,247
Erro	20	1402,685	70,134		

A produção de matéria seca do milho apresentou efeito significativo das doses de LIG em relação aos solos. A MS para o LVd foi 1760 kg ha⁻¹ (32g/coluna), no entanto o NVdf foi 57,75 kg ha⁻¹ (1,05 g/coluna).

A incorporação do LIG no LVd (textura arenoso) foi mais rápida apresentando o pH básico, fornecendo assim nutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e P) para o melhor desenvolvimento do milho. No caso do Nitossolo, textura argilosa, os nutrientes do LIG não incorporaram na época correta para o desenvolvimento da planta.

Araújo (2006) trabalhou com LIG e capim Tanzânia, a produção máxima da MS foi de 272 g/coluna, obtida com a aplicação de 360 t ha⁻¹ do LIG.

4.4 Razão de adsorção de sódio (RAS) no solo e no percolado

A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da Razão de adsorção de sódio (RAS) e, ou, decréscimo de sua salinidade (BERNARDO, 1995).

As concentrações elevadas do elemento no percolado ou no solo podem ocasionar salinização e alcalinização ou sodificação, através da RAS (Razão de Adsorção de Sódio), quando em conjunto com elementos Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e a CE (PRIOR, 2008).

Na Tabela 82 será apresentada os valores médios da razão de adsorção do sódio no LVd.

Tabela 82. Razão de adsorção de sódio no Latossolo Vermelho ($\text{cmlo}_c \text{ dm}^{-3}$) cultivado com milho sob aplicação de LIG.

Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Camadas					
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
0	0,33	0,11	0,10	0,26	0,08	0,01
150	0,24	0,11	0,14	0,24	0,12	0,08
300	0,32	0,12	0,14	0,23	0,17	0,12
450	0,29	0,09	0,13	0,24	0,16	0,14
600	0,32	0,13	0,15	0,24	0,20	0,22

No LVd (Tabela 82) a camada superficial (0,0-0,05 m) apresentou valores médios da RAS elevado com a aplicação das doses crescente de LIG em relação as camadas mais profundas, ou seja, a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas camadas mais profundas foram maiores.

Santos et al. (2006) avaliaram o aumento na salinidade de um solo não salino cultivado com mamona, irrigado com água residuária - AR (água de abastecimento e água tratada) e adubo com biossólido (0, 75 e 150 kg h^{-1} de N), observaram que a AR elevou a CE do solo, no entanto o adubo de biossólido não influenciou nas concentrações de cátions e ânions. As maiores concentrações de RAS e PST (porcentagem de sódio trocável) no solo foram com AR e a dose de biossólido 75 kg h^{-1} de N. Portanto, a AR utilizada para a irrigação contribuiu para tornar o solo de não salino para salino-sódico.

Na Tabela 83 será apresentada os valores médios da razão de adsorção do sódio no NVdf. Em que, podemos observar que a RAS diminuiu com a aplicação das doses crescente. Nota-se que na testemunha a razão de adsorção de sódio foi maior, isso foi possível porque a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi menor.

Tabela 83. Razão de adsorção de sódio no NVdf ($\text{cmlo}_c \text{ dm}^{-3}$)

Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Camadas					
	0,0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,60-0,80
0	0,33	0,13	0,10	0,09	0,02	0,00
150	0,25	0,12	0,10	0,20	0,07	0,02
300	0,19	0,10	0,07	0,14	0,21	0,07
450	0,20	0,12	0,09	0,17	0,12	0,14
600	0,18	0,14	0,11	0,14	0,16	0,16

Pela classificação do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, publicada em 1954 a qual apresenta um diagrama de classificação combinando a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e a concentração total de sais, para formar 16 classes de água, variando assim de

C1 a C4 e de S1 a S4 em todas as combinações possíveis (BERNARDO, 1995). Após a aplicação do LIG o LVd e o NVdf classificam no perigo de alcalinização ou sodificação como alta (S3) e média (S4) concentração de sódio, respectivamente. No entanto, a classificação a salinização para ambos os solo foi salinidade baixa, ou seja, a concentração total de sais solúveis foi menor.

Melo et al. (2006) avaliaram a efetividade do gesso na recuperação de solos salino-sódico com as doses 0, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 % de gesso. Observaram a diminuição da RAS em todos os tratamentos, resultante das trocas iônicas entre o sódio e o cálcio, em todas as profundidades.

Prior (2008) observou a RAS em solo através da aplicação de ARS, em que as médias observadas para o período apresentaram diferença significativa, sendo a maior média observada para a testemunha (0,28 meq L⁻¹), a qual não diferiu das médias apresentadas aos 40 (0,25 meq L⁻¹) dias após a semeadura (DAS) e 200 DAS (0,30 meq L⁻¹), no entanto a maior média foi 90 (0,52 meq L⁻¹) DAS, a autora conclui que todos os elementos (Na, Ca, Mg e CE) estavam em concentrações baixas, portanto não há riscos de sodificação.

5 CONCLUSÕES

O efeito foi significativo em todas as aplicação de doses crescentes de LIG no LVd e no NVdf, destacando a dose de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para as alterações químicas ocorridas no solo, na percolação de nutrientes e o desenvolvimento da planta.

O pH, o carbono e as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ no solo diminuíram no LVd em relação ao NVdf com o aumento das doses do LIG, pode ter ocorrido maior adsorção pelas plantas e maior percolação.

O teor de P no solo aumentou conforme as elevadas taxas de LIG, principalmente nas camadas superficiais.

A CE no solo e no percolado aumentou com aplicação das doses, no entanto no LVd apresentou CE menor, devido a maior perda de ânions.

A concentração do Na no solo e no percolado aumentou com a aplicação do LIG.

O pH aumentou ao longo das coletas e as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ no percolado aumentou com aplicação das doses do LIG, ou seja, a composição do percolado em diferentes períodos de chuvas pode causa impacto ambiental em águas subterrâneas.

O IAF diminuiu conforme o aumento das doses e a MS foi maior no LVd, como resposta da planta do milho.

As aplicações de doses crescente do LIG no LVd e no NVdf classificam como alta (S3) e média (S4) concentração de sódio, respectivamente. E para ambos os solos a salinidade foi baixa, ou seja, a concentração total de sais solúveis foi pequena.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostragem de resíduos**. NBR 10.007. 2004.

ANAMI, M.H.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M.; GOMES, S.D.; QUEIROZ, M.M.F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2008.

APHA. AWWA. WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington D. C., 1998.

ARAÚJO, J. C. **Efeito do lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo e no capim-tanzânia**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2006. 36p. (Dissertação de Mestrado).

BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D. Características químicas do solo influenciado pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, suplemento, p. 47-51, 2005.

BARROW, N. J. Retention of anions and cations with variable – charge soil. **Advances in Agronomy**, 1985. 38 – 183p.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P.F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, 675p. 1995.

BERTOL, O. J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água perolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**.

2005. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v.1, p.152-169, 2008.

BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº. 357. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Brasília, 2005.

BRITO, K, S.; LYRA, G, B.; LYRA, G, B.; SOUZA, J, L.; TEODORO, I.; SILVA, M.; ROCHA, A, E, Q.; SILVA, S. Produtividade e índice de área foliar do milho em função de adubação nitrogenada. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. **CD-ROM**, p. 2338 - 2343.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; MUNIZ, S. M. Effects of wastewater from a cassava industry on soil chemistry and crop yield of lopsided oats (*avena strigosa* schreb). **International Journal Brazilian archives of biology and technology**. vol 53, n. 1, p: 19 – 26. 2010.

CAMILOTTI, F. ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. Atributos físicos de um cultivado com cana de açúcar, após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Sorocaba, v. 26, p. 738-746, 2006.

CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O, eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

CAOVILLA, F.A.; SAMPAIO, S.C.; SMANHOTTO, A.; NOBREGA, L.H.P.; QUEIROZ, M. M. F. DE ; GOMES, B. M.. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.692-697, 2010.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n.6, p. 729-735, 2003.

DE MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantina**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

DIETER, J; SMANHOTTO, A.; PRIOR, M.; SILVESTRO, M.; SAMPAIO, S.C. Comportamento de Sais lixiviados em lisímetros oriundos da aplicação da Água Residuária de Suinocultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007, p. 1-8.

DOBLINSKI A.F.; SAMPAIO S.C.; SILVA V.R. DA; NÓBREGA, L.H.P.; SIMONE D. GOMES, S. D.; DAL BOSCO, T.C. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Rev. Brasileira Engenharia. Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p. 87-93. 2010.

DUARTE, A. S; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.302-310, 2008.

FERREIRA, D. F.. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001. 110p. (Tese de Mestrado).

FREITAS, W. S. da. **Efeito da aplicação de águas residuárias desuinocultura nas características agronômicas e nutricionais do milho (*Zeamays*L.)**. 2001, 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; CENCON, P. R.; PINTO, F. A.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura sobre a produção de milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.120-125, 2004.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. Fertilidade do solo. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a distância fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio. Universidade Federal de Lavras – UFLA. **Fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão** – FAEPE. Lavras – MG. 261f.

GHERI, E.O. **Resposta de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia à aplicação de soro ácido de leite**. 2002. 33p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

GOMES, E. S.; SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; BOAS, M. A. V.; ALVES, L. F. A.; SOBRINHO, T. A. Movimento de nitrato proveniente da água residuária em colunas de solos. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 557 – 568. 2004.

GUIMARÃES, R. C. M. ; CRUZ, M. C. P. ; FERREIRA, M. E.; TANIGUCHI, C. A. K. Chemical properties of soils treated with biological sludge from gelatin industry. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, p. 653-660, 2012.

GUIMARÃES, R. C. M. **Atributos químicos em solos tratados com lodo biológico de indústria de gelatina**. 2009. 48f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFIA, J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 242-249, 2009.

MAGGI, C. F.; FREITAS, S. P. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Impacts of the application of swine wastewater in percolate and in soil cultivated whit soy bean. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 279 – 290. 2013.

MAGGI, C. F.; FREITAS, S. P. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 2, p. 170 – 177, 2011. Campina Grande – PB.

MARQUES, M. C. **Atributos do solo, qualidade do lixiviado e crescimento das plantas de milho sob aplicação de água residuária de mandioca**. Dissertação (Mestre) – Programa de Pós-Graduação em ciência do Solo da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009. p. 93.

MARQUES, M. O. **Incorporação do lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1997. f.111. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1997.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1149-1155, 2006.

MELO, R. M.; BARROS, M. F. C.; SANTOS, P. M.; ROLIM, M. M. Correção de solos salino-sódico pela adição de gesso mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PB. v.12, n.4, p.376-380, 2008.

NARAMABUYE, F. X.; HAYNES, R. J. The liming effects of five organic manures when incubated with and acid soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.170, p.615-622, 2007.

OLIVEIRA, E. L.; **Manual de utilização de águas residuárias em irrigação**. FEPAF – Butucatu, 2012. 120p.

PAGANINI, W. S. Reúso da água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.(Eds). Reúso de água. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associações Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2003, p.339-402.

PELES, D. **Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PLAZA, C.; HERNÁNDEZ, D.; GARCÍA-GIL, J. C.; POLO, A. Microbial activity in pig slurry amended soils under semiarid conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.1577–1585, 2004.

PRIOR, M. **Efeito da água residuária de suinocultura no solo e na cultura do milho**. Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração em Irrigação e Drenagem). Botucatu – SP, 125f. 2008

PRIOR, M.; SMANHOTTO, A.; SAMPAIO, S. C.; NOBREGA, L. H. P.; OPAZO, M. A. U.; DIETER, J. Acúmulo e percolação de fósforo no solo devido à aplicação de água residuária de suinocultura na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**. v. 2, n. 1 2009.

QUEIROZ, F.M.; MATTOS, A.T.; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R.A. Características químicas de solo submetidas ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivados com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p. 1487-1492, 2004.

RAIJ, B. **Avaliação de fertilidade do solo**. Potafos, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1981. 142p.

SANTOS, M. B. H.; LIMA, V. L. A.; HAANDEL, A. C. V.; BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, A. P. Salinidade de um solo, irrigado com água residuária e adubado com biossólido. **Agropecuária Técnica**. Areia –PB. v. 27, n.1. 2006.

SEGANFREDO, M.A. Efeito de dejetos de suínos sobre o nitrogênio total, amônio e nitratos na superfície e subsuperfície do solo. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SBCS-NRS, 1998. p. 167-170.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.;

SMANHOTTO, A. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. 2008, f.100. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Botucatu, 2008.

TANIGUCHI, C.A.K. **Mineralização do lodo biológico de indústria de gelatina, atributos químicos de solo e uso fertilizante para produção de milho**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2010. 109p. (Tese de Doutorado).

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TRANNIN, 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.

TSADILAS, C. D.; MITSIOS, I. K.; GOLIA, E. Influence of Biosolids application on some soil physical properties. **Communications in soilscience Plant Analysis**, v. 36, n. 4-6, p. 709-716, 2005.

VIEIRA, G. D. A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35. p. 535-542. 2011.