

DANIELI SCHNEIDERS KAUFMANN

**INFLUÊNCIA DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM ATRIBUTOS DO SOLO, NA
EROSÃO HÍDRICA, NO ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL E NO TRANSPORTE
DE NUTRIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Coorientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

**Lages
2017**

Schneiders Kaufmann, Danieli

Influência do dejeto líquido de suínos em
atributos do solo, na erosão hídrica, no escoamento
subsuperficial e no transporte de nutrientes /
Danieli Schneiders Kaufmann. - Lages , 2017.

171 p.

Orientador: Ildegardis Bertol

Co-orientador: Álvaro Luiz Mafra

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. Adubação orgânica. 2. Enxurrada. 3. Drenagem.
4. Sedimentos. 5. Nutrientes. I. Bertol,
Ildegardis. II. Mafra, Álvaro Luiz. , .III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo. IV. Título.

DANIELI SCHNEIDERS KAUFMANN

**INFLUÊNCIA DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM ATRIBUTOS DO SOLO, NA
EROSÃO HÍDRICA, NO ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL E NO TRANSPORTE
DE NUTRIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

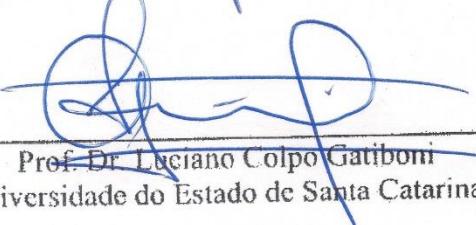
Orientador:


Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro interno:


Prof.ª Dra. Letícia Sequinatto
Universidade do Estado de Santa Catarina

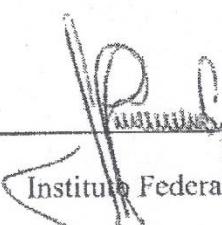
Membro interno:


Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:


Prof. Dr. Adilson Pinheiro
Universidade Regional de Blumenau

Membro externo:


Prof. Dr. Jefferson Schick
Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Canoinhas

AGRADECIMENTOS

A construção desta tese de doutorado contou com importantes apoios e incentivos, aos quais sou imensamente agradecida.

Ao Professor Ildegardis Bertol, primeiramente por aceitar me orientar, pela paciência, conhecimento transmitido, confiança e amizade. Enfim, muito obrigada por toda ajuda ao longo desses quatro anos.

Ao Professor Heinz Borg, por me proporcionar a oportunidade de fazer o doutorado sanduíche na Martin Luther Universität Halle-Wittenberg, pelos ensinamentos de âmbito acadêmico e científico, mas também pelos ensinamentos e lições de vida. Por ter me acolhido tão bem na Alemanha juntamente com Martina Wolter, Jürgen Döring, Jens Hagenau e Fabian Töpfer. Vocês me trataram como parte de suas famílias.

Aos professores Adilson Pinheiro e Ivone G. Pinheiro, pelo incentivo acadêmico, pela amizade e pelo acolhimento em Blumenau desde o início e por continuar a me acompanhar nesta jornada.

Agradeço meus queridos pais, Pedro Schneiders e Anita Wirth Schneiders, pelos valores transmitidos, pela educação, pelo incentivo e amor e por sempre entenderem a minha ausência em momentos importantes da família. Tenho muito orgulho de ser filha de vocês.

As minhas irmãs Francieli e Emanueli Schneiders, pelo apoio, pela amizade e carinho, apesar da distância.

Aos colegas do Laboratório de Uso e Conservação do solo, em especial, Barbara Bagio, Maria Aparecida do Nascimento dos Santos, Júlio César Ramos, Romeu de Souza Werner, Neuro Hilton Wolschick, José Mocabô Júnior, Rodrigo Vieira Luciano, Douglas Henrique Bandeira, Luran Muzeka, Fernando Souza e Loriane Bernardi pela ajuda nas atividades de campo e laboratório, pelas conversas, discussões e pela grande amizade.

Juliane, Gláucia, Renata e Daniela obrigada pela amizade, pelas conversas, conselhos e momentos felizes compartilhados.

À UDESC, especialmente ao CAV e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela formação científica. Aos professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos. Aos colegas de pós-graduação pela convivência e amizade. Aos demais funcionários que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. À FURB por disponibilizar suas dependências, material e equipamentos para a realização das análises químicas. Ao CNPQ e FAPESC pelos recursos financeiros, ao PROMOP e a CAPES pela concessão da bolsa.

Por fim, um agradecimento especial ao meu esposo Vander Kaufmann, por me fazer acreditar que chegaria ao final desta difícil, porém gratificante etapa. Por compreender e me fazer compreender a distância ao longo desses quase quatro anos. Este período nos mostrou que somos fortes e que juntos as dificuldades são superadas. Muito obrigada, meu amor, por estar ao meu lado em todos os momentos e me fazer feliz todos os dias.

RESUMO

Influência do dejeto líquido de suínos em atributos do solo, na erosão hídrica, no escoamento subsuperficial e no transporte de nutrientes

A principal causa da degradação do solo é a erosão hídrica pluvial. A cobertura e manejo do solo é o fator por meio do qual os tomadores de decisão e agricultores mais facilmente podem reduzir a erosão hídrica pluvial. É nesse fator que se enquadra a prática de adubação das culturas, que por sua vez, contempla as fontes orgânicas de adubação, dentre elas o dejeto líquido de suínos (DLS). Com esta pesquisa objetivou-se avaliar os efeitos de doses de DLS, sobre atributos de dois solos, dinâmica dos escoamentos superficial e subsuperficial, transporte de sedimentos e nutrientes pelos escoamentos e rendimento da cultura de soja em condição de semeadura direta e chuva simulada, em escala de parcela em campo. A pesquisa foi desenvolvida simultaneamente em duas áreas experimentais, uma sobre um Cambissolo e a outra um Nitossolo para avaliar os seguintes tratamentos que consistiram de doses de DLS: 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, aplicado uma única vez sobre o solo no início do ciclo da soja. Cada parcela media 11 m de comprimento no sentido do declive e 3,5 m de largura. Sobre os tratamentos foram realizados quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) com intensidade planejada de 65 mm h⁻¹ e duração de 90 minutos com auxílio de simulador de chuva. O primeiro teste de chuva foi realizado um dia após a aplicação do DLS e, os demais, foram distribuídos ao longo do ciclo da soja. Durante cada chuva simulada foram coletadas amostras do escoamento superficial através de calhas e do escoamento subsuperficial através de lisímetros de Ebermayer, localizados a 20 cm da superfície do solo. As coletas foram realizadas em intervalos de 10 minutos após o início dos escoamentos. Determinou-se a microporosidade, macroporosidade, porosidade total, estabilidade de agregados em água, pH em H₂O, carbono orgânico, fósforo e potássio, no início e no final da pesquisa. Durante as chuvas, avaliou-se a quantidade de escoamento superficial, a quantidade de sedimentos transportados e a quantidade de escoamento subsuperficial. Em ambos os escoamentos e no DLS foram determinados nitrato, amônio, nitrito, fósforo e potássio. No DLS também foram determinados o pH e a massa seca. Na soja foi determinada a massa seca da parte aérea e a massa de grãos. Sobre os atributos físicos e químicos do solo, sobre a infiltração, escoamento superficial, transporte de sedimentos, escoamento subsuperficial e produtividade da soja não foi observada influência da dose de DLS. Em relação à massa total dos nutrientes e suas concentrações médias no escoamento superficial e subsuperficial do Nitossolo e do Cambissolo, houve efeito do DLS no primeiro teste de chuva simulada e, em alguns casos, esse efeito foi percebido ainda no segundo e terceiro teste. No quarto teste não mais foi percebido efeito da dose de DLS. Porém, no primeiro teste, a tendência de aumento da massa e concentração de todos os nutrientes de acordo com o aumento da dose de DLS ficou mais evidente no escoamento superficial do que no escoamento subsuperficial.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Enxurrada. Drenagem. Sedimentos. Nutrientes.

ABSTRACT

Influence of swine slurry on soil attributes, water erosion, subsuperficial flow and nutrient transport

The main cause of soil degradation is rainfall erosion. Soil cover and management is the factor through which the decision makers and farmers can more easily reduce rainfall erosion. Is in that factor that fits the practice of crop fertilization, which in turn, includes organic fertilizer sources, amongst them the swine slurry. The objective of this research was to evaluate the effects of swine slurry doses on attributes of two soils, surface and subsurface flow dynamics, sediments and nutrients transport by the flows and yield of soybean on conditions of no-tillage and simulated rainfall, in scale of parcel in field. The research was developed simultaneously in two experimental areas, one on a "Cambissolo" and the other on a "Nitossolo" to evaluate the following treatments that consisted of swine slurry doses: 0, 50, 100 and 200 m³ ha⁻¹, applied only once on the soil at the beginning of the soybean cycle. Each plot is 11 m long in the direction of the slope and 3.5 m wide. Four simulated rainfall tests (T1, T2, T3 and T4) were performed on the treatments with a planned intensity of 65 mm h⁻¹ and duration of 90 minutes with the aid of a rainfall simulator. The first rainfall test was performed one day after the application of DLS and the others were distributed along the soybean cycle. During each simulated rainfall samples were collected from the surface flow through gutters and subsurface flow through Ebermayer lysimeters, located 20 cm from the soil surface. The samples were collected in intervals of 10 minutes after the start of flow. Microporosity, macroporosity, total porosity, aggregate stability in water, pH in H₂O, organic carbon, phosphorus and potassium at the beginning and at the end of the research were determined. During the rains, the amount of surface flow, the amount of sediment transported and the amount of subsurface flow were evaluated. In the both flow and in the DLS they were determined nitrate, ammonium, nitrite, phosphorus and potassium. In the DLS the pH and dry mass were also determined. In the soybean, the aerial part dry mass and the grain mass were determined. On the physical and chemical attributes of the soil, on infiltration, surface flow, sediment transport, subsurface flow and soybean yield, no influence of the swine slurry dose was observed. In relation to the total mass of the nutrients and their mean concentrations in the surface and subsurface flow of the "Nitossolo" and "Cambissolo", there was swine slurry effect in the first simulated rainfall test, and in some cases, this effect was still observed in the second and third tests. In the fourth test no further effect of the dose of swine slurry was perceived. However, in the first test, the tendency of increasing the mass and concentration of all nutrients according to the increase of the swine slurry dose was more evident in the surface flow than in the subsurface flow.

Palavras-chave: Organic fertilization. Runoff. Drainage. Sediments. Nutrients.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização de São José do Cerrito (A) e Lages (B) no estado de Santa Catarina.....	45
Figura 2 - Unidade experimental (A), lisímetro de Ebermayer (B) e vista de cima da parcela (C).....	47
Figura 3 - Disposição dos tratamentos 0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹ de DLS na área experimental do Nitossolo (A) e do Cambissolo (B).....	49
Figura 4 - Semeadura da soja.....	50
Figura 5 - Aplicação de dejeto líquido de suínos sobre a soja.....	51
Figura 6 - Atividades desenvolvidas ao longo do ciclo da soja no Nitossolo (A) e no Cambissolo (B).....	53
Figura 7 - Estágio da soja em cada teste de chuva simulada realizado sobre o Nitossolo e o Cambissolo.....	53
Figura 8 - Simulador de chuva do Tipo Swanson utilizado sobre o Nitossolo (A) e do Tipo Empuxo utilizado sobre o Cambissolo (B).....	54
Figura 9 - Demonstração da coleta do escoamento superficial (A) e do escoamento subsuperficial (B).....	56
Figura 10 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no pH em H ₂ O, N, P e K do Nitossolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na soja e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.....	68
Figura 11 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no pH em H ₂ O, N, P e K do Cambissolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na aveia e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.....	69
Figura 12 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na PT, Ma, Mi e DMP do Nitossolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na soja e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.....	71
Figura 13 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na PT, Ma, Mi e DMP do Cambissolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na aveia e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.....	72
Figura 14 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	75
Figura 15 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	75
Figura 16 - Tipos de curvas observadas a partir da relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) realizada na Figura 14 para o Nitossolo e na Figura 15 para o Cambissolo.....	77
Figura 17 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	79
Figura 18 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	81

Figura 19 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento superficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	84
Figura 20 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento superficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	84
Figura 21 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento superficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	86
Figura 22 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento superficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	86
Figura 23 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento superficial total (Σ) de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.....	87
Figura 24 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre concentração de sedimentos instantânea e taxa de escoamento superficial instantânea em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	89
Figura 25 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre concentração de sedimentos instantânea e taxa de escoamento superficial instantânea em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	89
Figura 26 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa de sedimentos acumulados (Σ) e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	90
Figura 27 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa de sedimentos acumulados (Σ) e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	90
Figura 28 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de sedimentos no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	93
Figura 29 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de sedimentos no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	94
Figura 30 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de sedimentos no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.....	95
Figura 31 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₃ ⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	97
Figura 32 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH ₄ ⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	97
Figura 33 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₂ ⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	98

Figura 34 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	98
Figura 35 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K ⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	99
Figura 36 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₃ ⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	99
Figura 37 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH ₄ ⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	100
Figura 38 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₂ ⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	100
Figura 39 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	101
Figura 40 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K ⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	101
Figura 41 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₃ ⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	104
Figura 42 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH ₄ ⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	105
Figura 43 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₂ ⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	106
Figura 44 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de P no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	107
Figura 45 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K ⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	108
Figura 46 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₃ ⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	109
Figura 47 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH ₄ ⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	110
Figura 48 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₂ ⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	111

Figura 49 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de P no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	112
Figura 50 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K ⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	113
Figura 51 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , P e K ⁺ no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	115
Figura 52 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , P e K ⁺ no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo... ..	116
Figura 53 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento subsuperficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	119
Figura 54 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento subsuperficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	120
Figura 55 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento subsuperficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	121
Figura 56 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento subsuperficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	121
Figura 57 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) no escoamento subsuperficial total (Σ) de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.....	122
Figura 58 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₃ ⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	124
Figura 59 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH ₄ ⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	124
Figura 60 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₂ ⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	125
Figura 61 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	125
Figura 62 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K ⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.....	126
Figura 63 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m ³ ha ⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO ₃ ⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.....	126

- Figura 64 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH₄⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 127
- Figura 65 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₂⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 127
- Figura 66 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 128
- Figura 67 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 128
- Figura 68 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 130
- Figura 69 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 131
- Figura 70 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₂⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 132
- Figura 71 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de P no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 133
- Figura 72 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 134
- Figura 73 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 135
- Figura 74 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 136
- Figura 75 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₂⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 137
- Figura 76 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de P no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 138
- Figura 77 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo..... 139
- Figura 78 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, P e K⁺ no escoamento subsuperficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo..... 142

Figura 79 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (\sum) padronizada de NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, P e K⁺ no escoamento subsuperficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo... 143

Figura 80 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na massa seca da parte aérea (incluindo resíduos e grãos) e na massa de grãos da soja cultivada no Nitossolo e no Cambissolo..... 147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química média de diferentes amostras (A, B, C, D e E) de dejeto de suínos.....	32
Tabela 2 - Produção média diária de dejeto, dejeto + urina e dejetos líquidos (dejeto + urina + água de limpeza) por animal por fase.....	33
Tabela 3 - Declividade das parcelas experimentais do Nitossolo e do Cambissolo.....	48
Tabela 4 - Intensidade da chuva simulada por parcela e teste de chuva no Nitossolo e Cambissolo.....	52
Tabela 5 - Caracterização do DLS aplicado sobre o Nitossolo e sobre o Cambissolo.....	58
Tabela 6 - Camadas de solo com a respectiva espessura e volume de solo.....	61
Tabela 7 - Tipo de curva observada a partir da relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração acumulada (I) em cada parcela e cada teste de chuva simulada, no Nitossolo e no Cambissolo.....	77
Tabela 8 - Teor de água no solo de cada tratamento ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) antecedente aos testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados no Nitossolo e no Cambissolo.....	78
Tabela 9 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no tempo de início (T_i) do escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.....	83
Tabela 10 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no tempo de início (T_i) do escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.....	118
Tabela 11 - Entrada de N, P e K via DLS e saída de N, P e K via escoamento superficial e escoamento subsuperficial no Nitossolo.....	145
Tabela 12 - Entrada de N, P e K via DLS e saída de N, P e K via escoamento superficial e escoamento subsuperficial no Cambissolo.....	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	29
2.2	O DEJETO DE SUÍNOS E SUA INFLUÊNCIA NO AMBIENTE	31
2.3	EFEITOS DO DLS NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA EROSÃO HÍDRICA	34
2.4	EFEITO DO DLS NO TRANSPORTE DE NUTRIENTES.....	36
2.5	CHUVA SIMULADA E LISÍMETRO DE EBERMAYER	40
3	HIPÓTESES	41
4	OBJETIVOS	43
4.1	GERAL.....	43
4.2	ESPECÍFICOS	43
5	MATERIAL E MÉTODOS	45
5.1	ÁREAS EXPERIMENTAIS	45
5.2	HISTÓRICO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS	46
5.2.1	Área experimental de São José do Cerrito (Nitossolo)	46
5.2.2	Área experimental de Lages (Cambissolo)	46
5.3	UNIDADE EXPERIMENTAL	47
5.4	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	49
5.5	SEMEADURA DA SOJA.....	50
5.6	APLICAÇÃO DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS	51
5.7	TESTES DE CHUVA SIMULADA E SIMULADORES DE CHUVA	52
5.8	DETERMINAÇÕES NO SOLO	54
5.9	TEOR DE ÁGUA NO SOLO ANTES DAS CHUVAS SIMULADAS	56
5.10	DETERMINAÇÕES NA ÁGUA DOS ESCOAMENTOS.....	56
5.11	DETERMINAÇÕES NO DLS E NA SOJA	57
5.12	CÁLCULOS	59
5.12.1	DLS	59
5.12.2	Atributos químicos e físicos do solo	60
5.12.3	Altura e intensidade das chuvas.....	62
5.12.4	Escoamento	62
5.12.5	Sedimentos	64
5.12.6	Nutrientes no escoamento	65
5.12.7	Infiltração de água no solo	65
5.13	RESOLUÇÃO	66
5.14	TRATAMENTO DOS DADOS.....	66
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	67
6.2	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	70
6.3	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	74
6.4	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	82
6.4.1	Taxa de escoamento superficial	82
6.4.2	Sedimentos no escoamento superficial	88
6.4.3	Nutrientes no escoamento superficial.....	96
6.5	ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL	118
6.5.1	Taxa de escoamento subsuperficial.....	118
6.5.2	Nutrientes no escoamento subsuperficial	122
6.6	ENTRADA DE N, P E K VIA DLS E SAÍDA VIA ESCOAMENTOS	144
6.7	MASSA SECA DA PARTE AÉREA E MASSA DE GRÃOS DA SOJA	147
7	CONCLUSÕES	149
8	RECOMENDAÇÕES	151
9	REFERÊNCIAS	153
	ANEXOS	171

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da agricultura, a degradação do solo tem sido um problema para a humanidade. Atualmente, com o aumento populacional humano e a pressão por produção de alimentos e outros bens, cerca de 33% dos solos do mundo são considerados degradados. A principal causa dessa degradação é a erosão hídrica pluvial. A erosão hídrica pluvial compreende três fases, desagregação, transporte e deposição dos sedimentos. O impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial são os agentes desencadeadores desse processo.

Os fatores que determinam a intensidade do processo de erosão hídrica pluvial são a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, as características do relevo, o manejo e cobertura do solo e as práticas conservacionistas de suporte. A cobertura e manejo do solo é o fator por meio do qual os tomadores de decisão e agricultores mais facilmente podem reduzir a erosão hídrica pluvial. É nesse fator que se enquadra a prática de manejo de adubação das culturas, que por sua vez, contempla as fontes orgânicas de adubação, dentre elas o dejeto líquido de suínos (DLS).

Na região sul do Brasil, especialmente no estado de Santa Catarina, a prática de aplicação de DLS nas lavouras como fonte de nutrientes para as plantas é frequente porque o estado detém grande rebanho de suínos. Pelo fato do DLS apresentar baixa concentração de nutrientes, mas estar disponível em grande quantidade nas propriedades agrícolas, os agricultores realizam sucessivas aplicações de DLS nas lavouras. Assim, ao mesmo tempo, o agricultor investe menos em adubos minerais para as culturas e esvazia as esterqueiras que ficam livres para receber novo DLS. No entanto, muitas vezes, as sucessivas aplicações de DLS aumentam a concentração dos nutrientes no solo além da necessidade das culturas, acumulando-se na superfície do solo.

A possível acumulação de nutrientes no solo pode ser transferida para a água de escoamento superficial e subsuperficial que, em determinado momento, poderá alcançar os corpos hídricos (açude, lago, rio, oceano). Em longo prazo, o corpo hídrico atingido pode tornar-se poluído e a água imprópria para o consumo humano e animal. Os nutrientes presentes no DLS em maior quantidade e que podem causar impacto sobre a saúde e ambiente são N e P.

Um fator determinante no transporte de nutrientes por escoamento superficial é a intensidade do processo de erosão hídrica. Isso porque, alguns nutrientes se mantêm aderidos aos sedimentos desagregados e, com isso, serão transportados e depositados fora do local de origem da erosão. Como a maioria das propriedades agrícolas de SC está localizada em áreas

de relevo acidentado, a tendência é que a erosão hídrica seja elevada e, consequentemente, grandes quantidades de nutrientes sejam transportadas via erosão.

Ao alcançar oceanos, rios e, principalmente, lagos e açudes, os sedimentos e os nutrientes (oriundos do DLS) podem causar respectivamente os fenômenos de assoreamento e eutrofização. Além disso, os sedimentos e nutrientes transportados das lavouras afetam a estrutura físico-química e a atividade biológica do solo, comprometendo sua qualidade e capacidade produtiva.

Diante disso, questiona-se qual seria a influência de diferentes doses de DLS aplicadas ao solo, nos seus atributos físicos e químicos, escoamento superficial e subsuperficial, transporte de sedimentos por escoamento superficial e nutrientes em ambos os escoamentos, em condição de semeadura direta e chuva simulada, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura soja, em diferentes tipos de solo.

Para responder a essa questão, e devido à problemática da degradação do solo por erosão hídrica e à importância da atividade suinícola e da prática de aplicação de DLS sobre a superfície do solo no estado de SC, fica evidente a necessidade de se conduzir a presente pesquisa. As informações obtidas auxiliarão na formulação de novas estratégias de aplicação dos dejetos, visando, em paralelo, o aprimoramento das práticas conservacionistas e de sistemas de manejo de forma que o solo e os recursos hídricos sofram menor impacto oriundo desta atividade. Diante disso, se espera a preservação e a continuidade desta atividade agrícola de maneira ambientalmente sustentável.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

A erosão é um processo mecânico que resulta da combinação de três fases, desagregação, transporte e deposição das partículas de solo (ELLISON, 1947; FOSTER et al., 1985). Tal processo mecânico requer energia, que, no caso da erosão hídrica pluvial é proporcionada pelo impacto das gotas de chuva e pela tensão cisalhante do escoamento superficial (WISCHMEIER; SMITH, 1958). A desagregação ocorre quando a força erosiva do impacto das gotas e/ou da tensão cisalhante do escoamento superficial exceder a resistência do solo. O transporte das partículas desagregadas ocorre pelo salpicamento devido ao impacto das gotas de chuva e principalmente pelo escoamento superficial. A deposição ocorre quando a quantidade de material transportado excede a capacidade de transporte do fluxo, quando esta capacidade é reduzida ou quando a chuva cessa (FOSTER, 1982). A erosão do solo induzida é um processo impulsionado por causas socioeconômicas, culturais e políticas (LAL, 2001).

A degradação do solo por erosão tem sido um problema crônico desde o início da agricultura estabelecida (LAL, 2001). Em nível mundial, dentre os dois agentes de erosão, vento e água, a erosão provocada pela água é a principal no processo de degradação do solo (FAO/ITPS, 2015), sendo classificada em erosão pluvial (chuva), fluvial (rio), marinha (mar) e glacial (gelo).

A erosão hídrica pluvial ocorre na forma entre sulcos e em sulcos (ELLISON, 1947; MEYER et al., 1975). Erosão entre sulcos é independente da erosão em sulcos, mas a erosão em sulcos depende muito das entradas de sedimentos das áreas com erosão em entre sulcos. Se a entrada de sedimentos a partir das áreas entre sulcos excede a capacidade de transporte do fluxo em sulcos, a deposição acontece. Se a entrada de sedimentos é menor do que a capacidade de transporte do fluxo em sulcos, e se a força erosiva do fluxo ultrapassar a resistência do solo em sulcos ao processo de desagregação, a erosão em sulcos acontece (FOSTER, 1982).

Os sedimentos transportados pelo fluxo podem ser depositados sobre o próprio declive (temporariamente), no fim dos declives, sobre as planícies aluviais, em lagos, reservatórios e rios, até alcançarem o oceano (SCHOONOVER; CRIM, 2015). A distância de deslocamento físico dos sedimentos pode variar de alguns milímetros a milhares de quilômetros e o lapso de

tempo desde a desagregação até a deposição individual pode variar de alguns segundos a milhares de anos (LAL, 2001).

A erosão pode provocar diversos danos, como, rebaixamento do terreno e diminuição da fertilidade do solo no local onde ocorreu a erosão, devido ao transporte simultâneo de sedimentos e de nutrientes. Fora do local de origem podem ocorrer problemas de segurança para o transporte devido à deposição de sedimentos em estradas, ferrovias ou pontes; problemas de drenagem, devido ao entupimento de tubulações, valas e bueiros; alteração do leito de reservatórios, lagos e rios, devido ao assoreamento; turbidez e eutrofização dos corpos d'água ocasionado por sólidos e nutrientes em suspensão que comprometem a qualidade da água com aumento dos custos de tratamento (CASTRO; RECKENDORF, 1995; RYAN, 1991).

Os fatores que isoladamente ou por interação afetam e condicionam a magnitude da erosão hídrica pluvial são: (a) os que definem a erosividade da chuva, como o tamanho, velocidade e forma das gotas, a altura, intensidade, duração, frequência e distribuição das chuvas; (b) as propriedades do solo que definem sua erodibilidade, como as características químicas e mineralógicas, a umidade do solo e a textura; (c) a forma, inclinação e comprimento do declive que compõem o relevo; (d) manejo e cobertura do solo, dependentes do tipo de preparo mecânico, entre outros; e (e) as práticas conservacionistas de suporte, principalmente o cultivo em contorno, o sistema de cultivo e o terraceamento (ASSOULINE; BEN-HUR, 2006; HOLZ et al., 2015; LAL, 2001; RÖMKENS et al., 2001; SANTOS et al., 2010; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A cobertura e manejo do solo é o fator por meio do qual os tomadores de decisão e agricultores mais facilmente podem reduzir a erosão hídrica pluvial (PANACHUKI et al., 2011; PANAGOS et al., 2015). Por meio deste fator é possível criar condições na superfície do solo para dissipar toda a energia cinética das gotas de chuva evitando ou minimizando ao máximo a desagregação inicial do solo, e dissipar toda ou parte da ação cisalhante do escoamento superficial (AMARAL et al., 2008). Também é possível melhorar as condições internas do solo para aumentar a infiltração de água no solo e, com isso, reduzir o escoamento superficial. Por isso, é o fator que mais influencia a erosão hídrica, tornando-se o mais importante.

O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas no solo com o objetivo de criar condições favoráveis ao desenvolvimento e a produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado (EMBRAPA, 2011). Tais operações compreendem basicamente o preparo, semeadura, calagem, fertilização, aplicação de defensivos agrícolas,

colheita e manejo dos resíduos culturais (cobertura do solo), sistemas de cultivo e práticas conservacionistas.

Um estudo da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e um Painel Técnico Intergovernamental sobre Solos (ITPS) destacaram que 33% dos solos do mundo estão degradados. Erosão, salinização, compactação, acidificação, contaminação, selamento superficial e perda da fertilidade estão entre as principais causas. A erosão, por si só, retira 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano do seu local de origem, reduzindo a produtividade das culturas e a capacidade de armazenar carbono, nutrientes e água. A diminuição da produção de cereais devido à erosão foi estimada em 7,6 milhões de toneladas por ano. Na América Latina, o cenário também é preocupante. Cerca de 50% dos solos latino-americanos estão sofrendo algum tipo de degradação. (FAO/ITPS, 2015).

No planeta terra, o aumento da população humana e animal, o cultivo de terras marginais, a mecanização intensiva, a monocultura, o sobre pastejo, o elevado uso de insumos químicos e orgânicos, alteraram as características naturais do solo, potencializando a erosão (OLIVEIRA et al., 2012). Ecossistemas sustentáveis devem ter um equilíbrio dinâmico entre formação de solo e erosão (WAKATSUKI; RASYIDIN, 1992). A erosão do solo agrícola e de pastagem intensiva é 100-1000 vezes superior às taxas naturais de erosão. Estas taxas de erosão são, também, muito mais elevadas do que as taxas conhecidas de formação dos solos, que são tipicamente bem abaixo de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com valores médios de cerca de $0,15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Nessas circunstâncias a erosão não é compensada pela formação de solo, a degradação ocorrerá, e o solo passa a ser considerado um recurso não renovável (FAO/ITPS, 2015).

2.2 O DEJETO DE SUÍNOS E SUA INFLUÊNCIA NO AMBIENTE

No Brasil, especialmente no estado de Santa Catarina, a operação de fertilização do solo com adubo orgânico oriundo de dejeto de suínos tem preocupado os órgãos ambientais e por isso vem sendo monitorada. Isso porque o dejeto de suínos provém de uma das principais atividades econômicas do estado, a suinocultura, e tem sido aplicado no solo de forma intensa e sem critério em termos de dose e de forma de aplicação.

Com a demanda crescente de produção de alimentos no mundo e no Brasil, a produção agropecuária vem acentuando sua participação nos impactos provocados ao ambiente. Para atender esta demanda, observa-se aumento do número de suínos nas unidades produtoras, ocasionando uma maior geração de resíduos com grande potencial poluidor, concentrados em determinadas regiões (BÜHRING; SILVEIRA, 2016).

O Brasil concentra um plantel de aproximadamente 39 milhões de cabeças de suínos (ABPA, 2016). A região Sul é tradicionalmente a de maior produção, onde o rebanho suíno soma 16,5 milhões de cabeças, quase 48% do total nacional. Em Santa Catarina, o plantel de suínos é de 5,5 milhões de cabeças, concentrado principalmente na região sul e oeste do estado que produzem $47.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de dejetos (ABCS, 2014). O destino desse montante de dejetos tem sido as lavouras e pastagens na forma de fertilizante (BALOTA et al., 2014), por conter nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio) e matéria orgânica, por outro lado, patógenos, metais pesados (cobre e zinco), hormônios e antibióticos, também, estão presentes (USDA/EPA, 1999).

A adição de dejetos de suínos ao solo como fertilizante é uma das alternativas para repor os elementos extraídos pelas culturas, substituindo ou complementando a fertilização mineral recomendada (CARVALHAL et al., 2014). Normalmente, esse dejetos é aplicado no solo na forma de dejetos líquidos de suínos (DLS). As transformações da atividade suinícola em Santa Catarina resultaram na concentração da produção de suínos, confinada, em um pequeno número de propriedades em áreas geográficas restritas. Assim, o volume de DLS produzido, em geral, supera a capacidade de assimilação do solo no ambiente local, fazendo com que esse modelo de exploração suinícola se torne insustentável ambientalmente (SILVA, 2000), pois polui o solo, a água e o ar, com reflexos negativos para a própria produtividade dos sistemas agrícolas (EMBRAPA, 2009).

A gravidade da poluição ambiental causada pela aplicação no solo de DLS depende da sua composição, da dose aplicada no solo, da capacidade de extração e exportação de nutrientes por parte das culturas, do tipo de solo (SEGANFREDO, 2007) e da magnitude da erosão. Na Tabela 1 consta a composição química de diferentes amostras de dejetos de suínos obtidas nas principais regiões produtoras de SC, em termos médios. Na Tabela 2 consta a produção média diária de dejetos de suínos.

Tabela 1 – Composição química média de diferentes amostras (A, B, C, D e E) de dejetos de suínos.

Amostra	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn
	----- g L⁻¹ -----				----- mg L⁻¹ -----			
A	3,4	1,8	0,6	2,2	0,7	35	119	25
B	3,4	1,8	0,4	2,5	0,7	36	120	30
C	5,9	3,2	0,9	3,3	1,3	32	159	39
D	3,1	1,9	0,6	2,2	0,8	43	134	23
E	6,0	2,5	1,2	5,7	1,0	12	72	49

Fonte: Adaptado de Segnafredo (2007).

Tabela 2 – Produção média diária de dejeto, dejeto + urina e dejetos líquidos (dejeto + urina + água de limpeza) por animal por fase.

Categoria de Suínos	Dejeto	Dejeto + Urina	Dejetos Líquidos
	kg		L
25-100 kg	2,3	4,9	7,0
Porcas em gestação	3,6	11,0	16,0
Porcas em lactação	6,4	18,0	27,0
Machos	3,0	6,0	9,0
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,4
Média	2,35	5,8	8,6

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993).

O órgão ambiental do estado de Santa Catarina, Fundação do Meio Ambiente – FATMA, através da Instrução Normativa número 11 recomenda seguir alguns critérios para a aplicação de dejeto de suínos como fertilizante no solo, quais sejam: (a) seguir as recomendações agronômicas vigentes e estabelecidas pelo Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2004); (b) a dose do dejeto e de demais fertilizantes orgânicos ou minerais a ser aplicada ao solo deve ser baseada na oferta do nutriente fósforo; (c) a aplicação deverá ser associada a técnicas que visem minimizar o transporte de nutrientes para fora do sistema solo por erosão, lixiviação, escoamento superficial, volatilização, entre outras. Ainda, deverão ser adotadas algumas técnicas e sistemas de produção conservacionistas (semeadura direta e cultivo em nível, entre outros), e formas apropriadas de aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais (incorporado, parcelado, etc.), sob a orientação do responsável técnico do projeto de licenciamento ambiental (FATMA, 2014).

No entanto, o aumento da produção de suínos e o consequente aumento da produção de dejetos, a pequena área das propriedades e o relevo acidentado da região fazem com que haja insuficiência de áreas agrícolas aptas para a aplicação agronômica e legal, de todo o resíduo gerado pela suinocultura nessas propriedades (BERTO, 2004). Logo, o agricultor não cumpre os critérios e uma grande quantidade de dejetos é aplicada sobre o solo, sem passar por qualquer tipo de tratamento ou estabilização e sem levar em consideração critérios agronômicos e legais (KUNZ et al., 2005).

2.3 EFEITOS DO DLS NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NA EROSÃO HÍDRICA

O DLS contém matéria orgânica (MO) e, como tal, espera-se um aumento da mesma no solo após a sua aplicação (MAILLARD; ANGERS, 2014), podendo se refletir na melhoria dos atributos físicos, como a agregação, a densidade e a porosidade do solo (VEIGA et al., 2012). Isto, por sua vez, beneficiaria a infiltração de água no solo, a circulação de ar dentro do solo, o desenvolvimento radicular das plantas, a capacidade de retenção e a disponibilidade de água e nutrientes no solo para as plantas (MOSADDEGH et al., 2009).

Os efeitos do DLS nos atributos do solo e na erosão hídrica dependem da dose, tipo e composição do dejeto, da época, frequência e modo de aplicação, do tipo de solo, da necessidade da cultura, do relevo e do regime de chuvas (BASSO, 2003; OLIVEIRA et al., 2016). Ou seja, inúmeros fatores regulam os efeitos do DLS nos atributos do solo e na erosão, por isso resultados variados são encontrados na literatura e, por isso não existe consenso sobre o assunto.

Em um Argissolo em condição de semeadura direta, por exemplo, após oito anos de aplicação de DLS com doses de 20 a 80 m³ ha⁻¹ houve aumento no teor de MO (LOURENZI et al. 2011). A aplicação de DLS por oito anos resultou em aumento do carbono orgânico (CO) e em diminuição da densidade até 0,1 m de profundidade do solo, com consequente aumento da agregação e estabilidade dos agregados nas camadas de 0,1-0,15 e 0,15-0,2 m e da macroporosidade nas camadas de 0-0,05 e 0,15-0,2 m (COMIN et al., 2013).

Doses de 50 e 100 m³ ha⁻¹ de DLS aplicado no solo entre 2001 e 2006, reduziram a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférrico em condição de semeadura direta, enquanto, a densidade, porosidade e o CO não foram modificados em relação à ausência de DLS (ARRUDA et al., 2010). Após quatro anos de aplicação de até 240 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLS não houve alterações no teor de MO e nem nos atributos físicos (argila dispersa em água, densidade, resistência à penetração, porosidade, permeabilidade do solo ao ar e estabilidade dos agregados) de um Latossolo Vermelho Distroférrico em cultivo com pastagem (AGNE; KLEIN, 2014). No estudo sobre um Latossolo, um Cambissolo e um Neossolo, com DLS aplicado por um período entre 15 e 20 anos, não se detectaram incrementos nos teores de MO dos solos (SCHERER et al. 2010).

Na ausência de DLS houve maior escoamento superficial, enquanto, com a aplicação de alta dose de DLS no solo (120 m³ ha⁻¹) ocorreu importante diminuição do escoamento superficial (CASTRO FILHO et al., 2002). O menor transporte de sedimentos ocorreu onde foram aplicados 60, 90 e 120 m³ ha⁻¹ de DLS. O aumento da dose de DLS contribuiu para o

aumento da infiltração da água no solo e consequentemente para redução do escoamento. Em outro experimento, Castro Filho et al. (2003) obtiveram melhoria na agregação do solo com a aplicação de doses crescentes de DLS, em um solo raso com textura argilosa. Em consequência, houve aumento da infiltração de água no solo e redução do escoamento superficial e do transporte de sedimentos. Em solo profundo com textura argilosa também foi constatado aumento da infiltração e redução do escoamento superficial e transporte de sedimentos, com o aumento das doses de DLS.

Geralmente, o escoamento superficial diminui com o aumento da dose de DLS. O aumento da dose de DLS resulta em maior produção de matéria seca das plantas, consequentemente, mais resíduos na superfície do solo (no caso da semeadura direta) para sua proteção, levando à redução do escoamento superficial (CERETTA et al. 2010), devido ao aumento da infiltração de água no solo. A adubação de um Argissolo Vermelho Amarelo durante cinco anos, com DLS, apresentou influência positiva na redução do transporte de sedimentos quando comparado à ausência de adubação e maior eficiência na infiltração de água no solo com redução do escoamento superficial, em relação ao tratamento com adubação mineral (LEMOS, 2011).

A aplicação de DLS no solo nas doses 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ não influenciou a erosão hídrica em um Nitossolo Bruno aluminoférreo húmico, nem no escoamento superficial, nem no transporte de sedimentos, em solo cultivado com aveia (MECABÔ JÚNIOR et al., 2014). A aplicação de água residuária de suinocultura, por outro lado, provocou redução na infiltração de água no solo em um Podzólico Vermelho-Amarelo, intensificada com aplicações sucessivas desse produto (OLIVEIRA et al., 2000). Da mesma forma, Oliveira e Parizotto (1994) obtiveram redução da infiltração de água no solo em função do uso de DLS, devido a possível presença de compostos orgânicos hidrofóbicos.

O transporte de sedimentos e o escoamento superficial foram maiores nas duas primeiras chuvas em um Latossolo Vermelho eutroférico adubado com DLS do que adubado com adubo mineral (BERTOL et al., 2007a), em que a altura da lâmina do escoamento no tratamento com DLS foi aproximadamente duas vezes maior do que nos outros dois tratamentos (testemunha e com adubo mineral). Este resultado foi atribuído à obstrução de poros do solo pelos compostos orgânicos sólidos presentes no DLS e pelo efeito hidrofóbico deste, que alterou o comportamento da hidrologia de superfície neste tratamento. Esse fenômeno promoveu a repelência da água, dificultando, portanto, a infiltração desta no solo.

O escoamento superficial e o transporte de sedimentos aumentaram com a aplicação de DLS por mais de dez anos em Latossolo Bruno Distrófico típico (PELES, 2007). Do

mesmo modo, o escoamento superficial e o transporte de sedimentos, em um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado no sistema de semeadura direta e adubado com DLS e cama de aviário por dois e quatro anos, foram maiores nos tratamentos adubados com DLS (OLIVEIRA et al. 2015).

Além das alterações nos atributos físicos que refletem na dinâmica da infiltração, escoamento e transporte de sedimentos, a aplicação de DLS influencia a biologia do solo e nos atributos químicos do solo. Quanto à biologia, a adição de resíduos orgânicos atua no fornecimento de substrato para os organismos e na modificação da temperatura (BARRETA et al., 2003), intensificando a atividade microbiana e enzimática do solo (ARRUDA, 2007). Por outro lado, a adição de resíduos não tratados também adiciona organismos potencialmente patogênicos que podem alterar negativamente a biologia do solo e causar riscos à saúde animal e humana (MATOS et al., 1997).

Em relação aos atributos químicos, a adição de DLS pode, em solos ácidos, aumentar os valores de pH (BRUNETTO et al., 2012; LOURENZI et al., 2011; WHALEN et al., 2000) e, pode ser fonte de nutrientes, como N, P e K para as culturas anuais e/ou pastagens (CARVALHAL et al., 2014; GIROTTA et al., 2013; LOURENZI et al., 2013). Assim, as condições químicas do solo melhoram e favorecem o desenvolvimento radicular, a produção de massa seca e o rendimento de grãos (LOURENZI et al., 2014a).

No entanto, aplicações sucessivas de DLS, muitas vezes totalizando nutrientes em quantidades acima das necessidades das culturas, podem promover acúmulos excessivos de nutrientes no solo. Com isso, podem restringir suas funções, causar toxicidade às plantas, contaminar a cadeia trófica ou potencializar a transferência desses elementos por escoamento superficial e subsuperficial e, consequentemente, poluir mananciais de águas superficiais e subsuperficiais (CERETTA et al., 2010; GIROTTA et al., 2013; SANTOS, 2010).

2.4 EFEITO DO DLS NO TRANSPORTE DE NUTRIENTES

A poluição das águas decorrente da aplicação de DLS no solo pode se dar pelo transporte de sedimentos e nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cobre, zinco, cálcio, magnésio e outros, pelo escoamento superficial e pela movimentação destes elementos no perfil do solo através do escoamento subsuperficial (DAL BOSCO, 2007).

Os nutrientes podem estar adsorvidos às partículas sólidas (minerais e orgânicas) do solo e dissolvidos na água do escoamento superficial ou subsuperficial. As suas concentrações, entretanto, variam com o regime de chuva, com o tipo de solo e com a própria

concentração no solo. Estas concentrações, para um mesmo local e tipo de solo, variam com as práticas de manejo agrícola empregadas, como os diferentes sistemas de cultivo, métodos de preparo do solo e semeadura das culturas e tipos, quantidades, frequências e formas de aplicação de adubos e corretivos (BARROWS; KILMER, 1963).

Em relação ao tipo de adubação, mineral ou orgânica, nutrientes oriundos de adubos orgânicos, como o DLS, são mais facilmente transportados pelo escoamento superficial, devido sua menor densidade quando comparados com os fertilizantes minerais (BARROWS; KILMER, 1963). Além disso, a aplicação superficial de fertilizantes, sem incorporação ao solo, também, facilita o transporte de nutrientes em virtude do maior acúmulo em superfície (CASSOL et al., 2002).

Dentre os nutrientes que se encontram no DLS, a maior ênfase tem sido dada ao N, P e K, por serem importantes fontes nutritivas às plantas, por estarem em maior concentração no DLS e por apresentarem uma dinâmica complexa no solo. Em função dos dois primeiros a preocupação em relação ao risco de poluição das águas é iminente (ASSMANN et al., 2007; BASSO et al., 2005).

No solo, ambas as formas, inorgânicas e orgânicas de N são encontradas. Contudo, apenas a forma inorgânica está disponível para a absorção das plantas. A maior parte de N (> 95%) no solo existe na forma orgânica e, portanto, não está disponível. Nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as duas formas inorgânicas utilizadas pelas plantas. O nitrato é mantido principalmente em solução e está prontamente disponível para a absorção da planta. Os íons de amônio são maioritariamente mantidos no complexo de troca catiónica. Os microrganismos do solo podem quebrar o N (NH_2^-) orgânico e convertê-lo em formas utilizáveis pelas plantas (NH_4^+ e NO_3^-), em um processo conhecido como mineralização de nitrogênio. A imobilização de N também pode ocorrer quando o N inorgânico é convertido em forma orgânica inutilizável (SCHOONOVER; CRIM, 2015).

Por outro lado, como as deficiências de N para as culturas são generalizadas e podem levar a baixos rendimentos das culturas, N é frequentemente aplicado em excesso. Em função disso, perdas substanciais de N podem ocorrer por volatização de amônia ou transporte de nitrato no perfil do solo, se não for usado pelas plantas, por ser extremamente móvel. Além disso, o excesso de N no solo pode levar à desnitrificação incompleta, o que gera óxido nitroso para a atmosfera (BASSO, 2003; SCHOONOVER; CRIM, 2015).

O excesso do íon NO_3^- na água potável é preocupante por causar em recém-nascidos a síndrome do bebê azul, na qual, o nitrato, ingerido na alimentação, é convertido a NO_2^- na saliva bucal ou por redução gastrintestinal. Assim, o nitrito entrando na corrente sanguínea

oxida o ferro ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) da hemoglobina, produzindo a metaemoglobina. O bebê torna-se azul e sofre interrupções na sua respiração (BOINK; SPEIJERS, 2001).

O NO_3^- , ao se transformar em nitrosaminas e nitrosamidas, torna-se um agente cancerígeno potencial aos seres humanos. Estudos em animais mostraram a formação de tumores no estômago, esôfago, cólon, bexiga, sistema linfático e hematopoiético. Existe uma correlação entre ingestão de NO_3^- e incidência de câncer de ovário e próstata. Além disso, o NO_3^- pode levar a más formações congênitas, principalmente no sistema nervoso central, e provocar aborto (WARD, 2005).

O P é o segundo nutriente, após o N, mais limitante para o crescimento ótimo das plantas. A maioria do P do solo é derivado de resíduos minerais e da decomposição da matéria orgânica. Mas, as concentrações de P disponível às plantas são geralmente muito baixas nos solos, pois a maior parte de P está insolúvel (SCHOONOVER; CRIM, 2015).

Ao contrário do NO_3^- , que é móvel através do perfil do solo, o P, prontamente liga-se ao sedimento e por isso é facilmente transportado por escoamento superficial (KLEIN; AGNE, 2012). O transporte de P no perfil do solo, até águas subterrâneas, pode ocorrer quando aplicadas doses elevadas e sucessivas de fertilizante na superfície de solo (BASSO et al., 2005).

Excesso de P e N na água desencadeia o fenômeno de eutrofização, amplamente investigado (ANDRIETTI et al., 2016; BACHMANN et al., 2013; FONTANA et al., 2014; GRILLO et al., 2016; SMITH et al., 2014; SMITH; SCHINDLER, 2009; WIEGAND et al., 2016).

A eutrofização é caracterizada pelo crescimento excessivo de plantas e algas devido à maior disponibilidade de um ou mais fatores limitantes de crescimento necessários à fotossíntese, como a luz solar, o dióxido de carbono ou nutrientes. A eutrofização ocorre naturalmente durante os séculos à medida que os lagos são preenchidos com sedimentos. No entanto, as atividades humanas têm acelerado a taxa e a extensão da eutrofização através de descargas de fontes pontuais e difusas de nutrientes limitantes, como P e N, nos ecossistemas aquáticos (isto é, eutrofização cultural), com consequências dramáticas para as fontes de água potável, atividades de pesca e recreação (CARPENTER et al., 1998; SCHINDLER, 2006). Um exemplo é Golfo do México que tem uma das maiores zonas mortas do mundo devido à eutrofização oriunda da descarga de nutrientes proveniente da drenagem da Bacia do Rio Mississippi. Nos últimos cinco anos, o tamanho médio da zona morta foi estimado em 5,5 milhas quadradas (SCHOONOVER; CRIM, 2015).

O K é um macronutriente essencial para proporcionar proteção contra as doenças das culturas. No entanto, a maior parte do K no solo existe como um mineral e não está prontamente disponível para absorção das plantas. Apenas 2% do K no solo está prontamente disponível para a absorção das plantas e está na forma de solução ou na forma trocável (BRADY, 1984). As concentrações de K dissolvidas e trocáveis estão em equilíbrio. Por exemplo, quando as plantas removem K da solução do solo, K é libertado do complexo de troca catiónica para a solução do solo até o equilíbrio de K ser atingido. Semelhante ao NO_3^- , o K é móvel e facilmente transportado no perfil do solo (SCHOONOVER; CRIM, 2015).

Em fim, N e P são nutrientes que exigem um manejo cuidadoso, pois são críticos tanto para a produção bem-sucedida quanto para a qualidade ambiental (SCHOONOVER; CRIM, 2015). Assim sendo, uma forma de evitar ou controlar os problemas ambientais é monitorar o transporte de nutrientes e a qualidade dos corpos d'água, bem como, trabalhar no sentido de manter os padrões dentro dos limites estabelecidos pelas regulações vigentes. Neste contexto, a resolução 357 do CONAMA, de 2005, estabelece que, em corpos hídricos de água doce de classe 1, classe 2 e classe 3 não pode haver concentrações superiores que 500 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos totais; 10 mg L^{-1} de NO_3^- ; $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_2^- ; $3,7$ à $13,3 \text{ mg L}^{-1}$ para $\text{pH} \leq 7,5$ (dependendo da classe do corpo hídrico) de nitrogênio amoniacal total e $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ à $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ de P total (dependendo da classe e do fluxo lêntico, intermediário ou lótico do corpo hídrico) (CONAMA, 2005).

Na literatura existem inúmeros trabalhos que avaliaram o efeito da aplicação de DLS no transporte de nutrientes por escoamento superficial ou subsuperficial. Sendo que dentro desse tema as mais variadas comparações ou avaliações já foram feitas. Encontra-se a comparação entre a aplicação de DLS, que é um adubo orgânico, com a adubação mineral (BERTOL et al., 2005; BERTOL et al., 2010; SANTOS et al., 2015; TOMER et al., 2016). Avaliação de diferentes doses de DLS com sucessivas aplicações (CERETTA et al., 2010) ou com apenas uma aplicação (MECABÔ JÚNIOR et al., 2014). Comparação da aplicação de DLS com a aplicação de diferentes fontes orgânicas, como cama de aviário (OLIVEIRA et al., 2015) ou dejeto bovino (LOURENZI et al., 2014b). Avaliação de diferentes intervalos de tempo entre a aplicação de DLS e a ocorrência do primeiro evento de chuva (FLYNN et al., 2013; SMITH et al., 2007). Comparação do método de aplicação do DLS, sem ou com incorporação (ALLEN; MALLARINO, 2008).

2.5 CHUVA SIMULADA E LISÍMETRO DE EBERMAYER

Experimentos com chuva natural são difíceis de serem realizados, pois, além de serem de longa duração e dispendiosos, não permitem o controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipo de chuva. Uma alternativa que se apresenta viável é a realização de experimentos de chuva simulada com a utilização de simuladores de chuvas, os quais permitem controlar as características das mesmas e podem ser utilizados a qualquer tempo e lugar (COLLINET; VALENTIN, 1984). Estudos relacionados ao transporte de sedimentos e de nutrientes vêm utilizando simuladores de chuva para controlar e apressar a obtenção de dados que visam à melhoria das práticas de manejo e a conservação do solo e da água (BERTOL et al., 2004; ELTZ et al., 2001; FERREIRA et al., 2010; PANACHUKI et al., 2011; SOUZA, 2004). Assim, a utilização de chuva simulada é de suma importância para a obtenção de informações rápidas e satisfatórias sobre o fluxo de água, transporte de sedimentos e nutrientes em condições que nem sempre podem ser representadas naturalmente em campo (BRAMORSKI et al., 2014; SANTOS, 2011). Além disso, as informações obtidas podem ser extrapoladas para solos e condições semelhantes (SCHAEFER et al., 2002).

Uma forma de avaliar quantitativamente e qualitativamente o escoamento superficial é através de parcelas padrão para chuva simulada, com 11 m de comprimento e 3,5 m de largura (EMBRAPA, 1975). Já o escoamento subsuperficial pode ser avaliado por lisímetros, mais especificamente, o lisímetro do tipo Ebermayer. Esse tipo de lisímetro é constituído por um coletor (semelhante a um funil) posicionado em determinada camada imperturbada no perfil do solo. Assim, permite coletar o fluxo vertical da água que infiltra e percola no solo e, devido, a ausência de paredes laterais, também, coleta o fluxo lateral da água de percolação. O lisímetro do tipo Ebermayer é um tipo especial de lisímetro monolítico, que tem sido utilizado para diferentes estudos e análises químicas da água que escoa subsuperficialmente (MAÑAS; URREA, 2005).

3 HIPÓTESES

- Doses crescentes de DLS ($0, 50, 100$ e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$) aplicadas no solo aumentam os valores de pH em água devido a liberação de substâncias alcalinizantes durante a degradação do dejeto, de nitrogênio, fósforo e potássio devido ao aporte dos nutrientes via dejeto ao solo, de porosidade e estabilidade de agregados do solo em água devido ao aumento da matéria orgânica.
- A infiltração de água no solo e o escoamento subsuperficial aumentam com o aumento da dose de DLS, enquanto o escoamento superficial e o transporte de sedimentos diminuem, devido à melhoria dos atributos físicos do solo.
- O transporte de nitrato, amônio, nitrito, fósforo e potássio pelos escoamentos superficial e subsuperficial aumentam com o aumento da dose de DLS aplicado no solo, devido ao aporte dos nutrientes via dejeto ao solo.
- No decorrer de quatro testes de chuva simulada realizados sobre a soja, o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e nutrientes diminuem, enquanto a infiltração de água no solo e o escoamento subsuperficial aumentam, influenciados pela melhoria na estrutura do solo em decorrência do desenvolvimento da cultura.
- A massa seca da parte aérea e a massa de grãos da soja aumentam com o aumento da dose de DLS, porque o dejeto em doses crescentes supre proporcionalmente as necessidades nutricionais da cultura.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Avaliar os efeitos de doses de DLS sobre atributos físicos e químicos de dois solos, dinâmica dos escoamentos superficial e subsuperficial, transporte de sedimentos e nutrientes pelos escoamentos e rendimento da cultura de soja em condição de semeadura direta e chuva simulada, em escala de parcela em campo.

4.2 ESPECÍFICOS

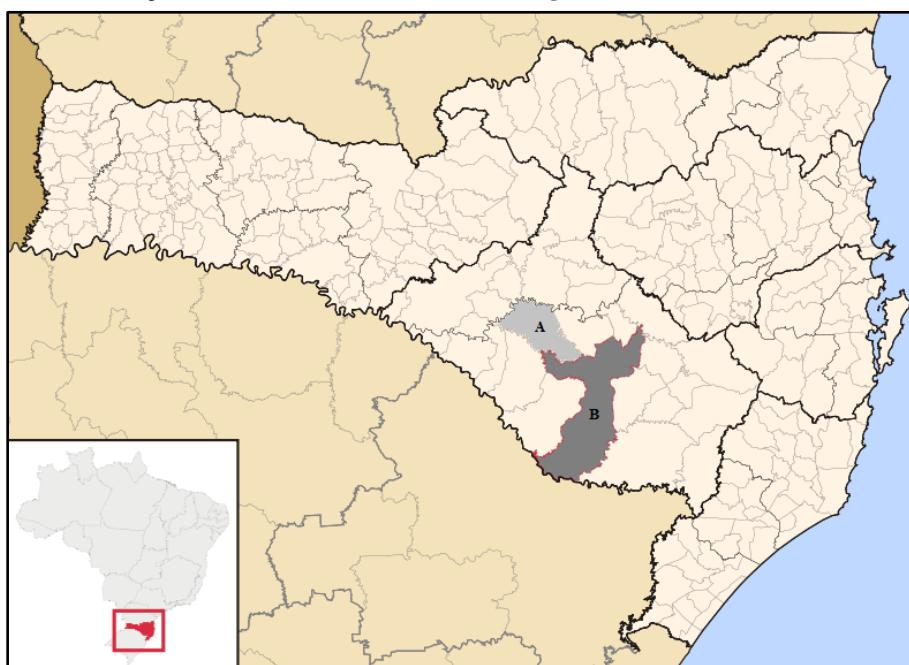
- Determinar pH em água, matéria orgânica (para estimar nitrogênio), fósforo, potássio, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e estabilidade de agregados em amostras de Nitossolo e Cambissolo, coletadas no início (antes) e ao final (após) do experimento;
- Quantificar o escoamento superficial, a infiltração de água no solo (de forma indireta), o escoamento subsuperficial e os sedimentos no escoamento superficial;
- Determinar nitrato, amônio, nitrito, fósforo e potássio nas amostras do escoamento superficial, escoamento subsuperficial e no DLS e, neste, determinar ainda a massa seca e pH;
- Determinar a massa seca da parte aérea e a massa de grãos da soja.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREAS EXPERIMENTAIS

O trabalho foi desenvolvido durante a primavera/verão 2013/2014, em duas áreas experimentais, uma no município de São José do Cerrito e a outra, no município de Lages, ambos localizados no Planalto Sul de Santa Catarina (Figura 1).

Figura 1 – Localização de São José do Cerrito (A) e Lages (B) no estado de Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de Google Imagens, 2016.

A área experimental de São José do Cerrito está localizada no Centro de Educação Profissionalizante (CEDUP) do Colégio Agrícola Caetano Costa, nas coordenadas 27° 43' latitude Sul e 50° 31' longitude Oeste de Greenwich, com altitude aproximada de 800 m. O solo é um Nitossolo Bruno aluminoférreo húmico, de classe textural muito argiloso (EMBRAPA, 2006), cuja composição média da granulometria do solo é de 280 g kg⁻¹ de areia, 100 g kg⁻¹ de silte e 620 g kg⁻¹ de argila (BARBOSA et al., 2012).

A área experimental de Lages está localizada no Centro de Ciências Agroveterinárias, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), nas coordenadas 27° 47' latitude Sul e 50° 18' longitude Oeste de Greenwich, com altitude aproximada de 900 metros. O solo da área experimental de Lages foi classificado como Cambissolo Húmico

alumínico léptico, segundo Embrapa (2006), e se enquadra na classe textural franco-argilo-siltosa, com 196 g kg^{-1} de areia, 412 g kg^{-1} de silte e 392 g kg^{-1} de argila (RAMOS, 2013).

Em ambas as áreas, de acordo com a classificação de Köeppen, o clima é do tipo Cfb, subtropical úmido, chuvoso, com verões frescos. Já a precipitação acumulada anual fica entre 1450 e 1650 mm (INMET, 2009).

5.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

5.2.1 Área experimental de São José do Cerrito (Nitossolo)

Antes de outubro de 2009 a área era usada para fins agrícolas, sendo, inicialmente, adotado o preparo convencional e, nos últimos cinco anos, antes de 2009, a semeadura direta passou a ser praticada. As culturas utilizadas nesse período, sob semeadura direta, foram: feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), durante a primavera/verão, e aveia preta (*Avena strigosa S.*), ervilhaca (*Vicia sativa L.*) e pousio com predomínio de azevém (*Lolium multiflorum L.*), durante o outono/inverno. A partir de outubro de 2009 esta área foi preparada para a pesquisa de Barbosa (2011), sendo cultivado milho, na primavera/verão de 2009/2010, trigo (*Triticum aestivum*), no outono/inverno de 2010 e soja, na primavera/verão de 2010/2011, em sistema de semeadura direta, com duas direções de semeadura e duas doses de resíduo. Posteriormente, foi semeado a lança nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*) no outono/inverno de 2011, e através da técnica de semeadura direta foi semeado, no sentido do declive, feijão durante a primavera/verão de 2011/2012. Em seguida, foi conduzida a pesquisa que antecedeu o presente trabalho, na qual, foi semeada aveia preta durante o outono/inverno de 2012 (MECABÔ JÚNIOR, 2013), milho na primavera/verão de 2012/2013 e nabo forrageiro no outono/inverno de 2013.

5.2.2 Área experimental de Lages (Cambissolo)

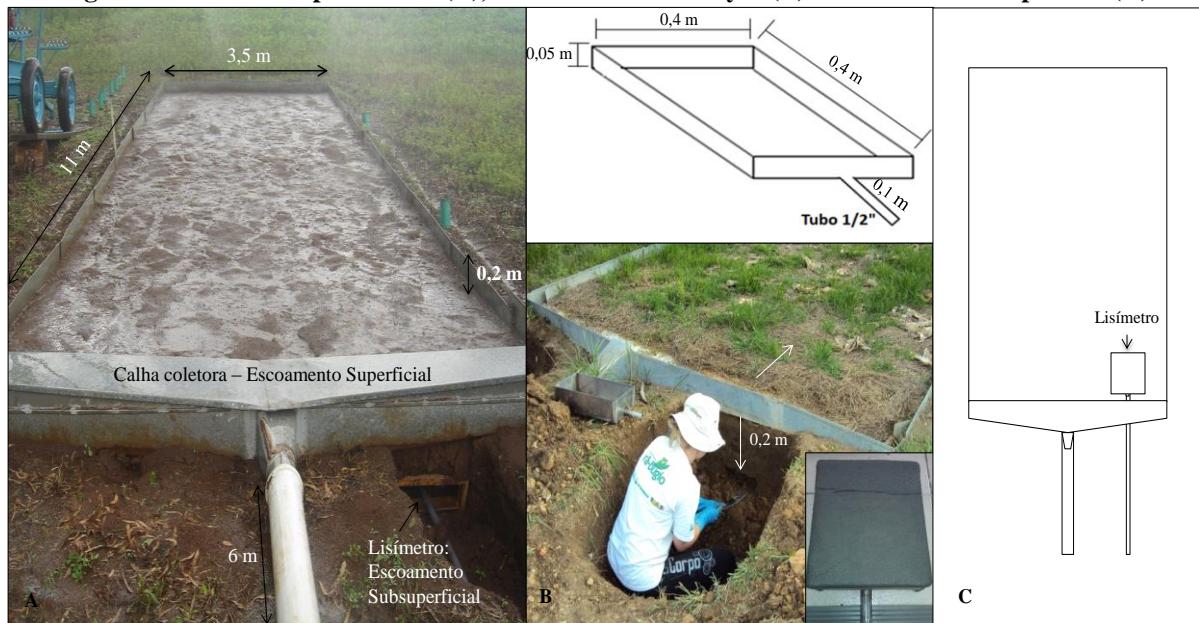
Antes de sofrer qualquer interferência humana a área experimental de Lages era ocupada por campo nativo, a qual passou a ser utilizada a partir de 2006 para o desenvolvimento de pesquisas sobre erosão hídrica do solo. Na ocasião, a acidez do solo foi corrigida através da incorporação de calcário com duas arações e duas gradagens, conforme descrito em BARBOSA et al. (2009). No outono/inverno de 2006 foi iniciado o primeiro trabalho, sendo a área cultivada com ervilhaca e aveia preta. Após, a área ficou alguns anos

sem ser aproveitada para a condução de pesquisas, porém foi cultivada para sua manutenção. Durante a primavera/verão de 2009/2010 foi novamente usada para fins de pesquisa, sendo cultivada com milho, soja, feijão e com consórcio entre as culturas de milho e feijão. Já no outono/inverno de 2010 foi semeado trigo e na primavera/verão de 2010/2011 soja e milho foram semeados no sentido do declive e paralelo ao declive (MARIOTI et al., 2013). Durante o outono/inverno de 2011, a primavera/verão de 2011/2012 e o outono/inverno de 2012 foi desenvolvida a pesquisa de Ramos (2013), o qual trabalhou com solo cultivado com resíduos de azevém; solo cultivado com resíduos de ervilhaca; solo escarificado com raízes de azevém; solo escarificado com raízes de ervilhaca e solo descoberto escarificado. Tal estudo precedeu a implantação do presente trabalho.

5.3 UNIDADE EXPERIMENTAL

A unidade experimental, ou parcela, utilizada para testes de chuva simulada, em ambos os experimentos, tinha 11 m de comprimento e 3,5 m de largura (EMBRAPA, 1975), totalizando 38,5 m², sendo à disposição do comprimento da parcela no sentido do declive (Figura 2). A delimitação das laterais e da extremidade superior da parcela foi realizada com chapas galvanizadas de 0,2 m de altura, cravadas 0,1 m no solo.

Figura 2 – Unidade experimental (A), lisímetro de Ebermayer (B) e vista de cima da parcela (C).



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Na extremidade inferior da parcela foi acoplada uma calha coletora para concentrar o escoamento superficial. Nessa calha um tubo de PVC de 6 m de comprimento foi conectado e ao final do tubo as amostras do escoamento superficial eram coletadas. Também, na extremidade inferior da parcela, rente a calha coletora e no centro do lado direito da parcela (olhando da parte inferior para a superior), foi aberta uma trincheira para a colocação do lisímetro de Ebermayer para coletar o escoamento subsuperficial (Figura 2).

O lisímetro de Ebermayer também foi usado nos trabalhos de Lunt (1937), Vrbek et al. (2008) e Goss e Ehlers (2009). A água armazenada no lisímetro era conduzida através de uma mangueira de cristal de 7 m de comprimento, sendo as amostras de escoamento subsuperficial coletadas ao final da mesma. Foi colocado um lisímetro em cada parcela, de modo que a superfície do lisímetro ficou a uma profundidade de 0,2 m da superfície do solo.

O lisímetro constitui-se numa caixa retangular, de chapas galvanizadas (com as laterais e o fundo fechado, ficando somente a parte superior aberta), preenchida com areia pura e estéril envolvida com manta geotêxtil. As dimensões do lisímetro foram de 0,4 m de comprimento, 0,4 m de largura e 0,05 m de altura, totalizando $0,16\text{ m}^2$, o que representa 0,4% da área da parcela. A areia e a manta geotêxtil tinham como função reter as partículas finas de sedimentos e permitir a passagem somente da água e solutos.

Na Tabela 3 podem ser observadas as declividades das parcelas instaladas sobre o Nitossolo e o Cambissolo.

Tabela 3 – Declividade das parcelas experimentais do Nitossolo e do Cambissolo.

Nitossolo		Cambissolo	
Parcela	Declividade (m m^{-1})	Parcela	Declividade (m m^{-1})
P7	0,14	P4	0,13
P10	0,12	P11	0,13
P3	0,15	P2	0,15
P6	0,15	P12	0,14
P4	0,15	P3	0,14
P5	0,15	P8	0,12
P8	0,14	P1	0,14
P9	0,12	P7	0,13

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

5.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Durante o estudo foram avaliados quatro tratamentos distribuídos na área de cada experimento pelo delineamento inteiramente casualizado com duas repetições. Os tratamentos consistiram de quatro doses, 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de DLS aplicado sobre a superfície do solo na cultura da soja (*Glycine max*). As doses de DLS foram baseadas na antiga Instrução Normativa número 11 da FATMA (FATMA, 2000) que, à época da instalação da presente pesquisa, ano de 2013, estabelecia 50 m³ ha⁻¹ como dose máxima de DLS que poderia ser aplicada nas lavouras. Assim, a intenção foi testar essa dose de 50 m³ ha⁻¹, bem como o dobro e quádruplo da referida dose, pelo fato de saber que a maioria dos agricultores não respeitava esse limite de 50 m³ ha⁻¹. Em 2014 a Instrução Normativa número 11 (FATMA, 2014) foi modificada e outros critérios passaram a valer, os quais já foram expostos no item 2.2 deste trabalho.

Como foram quatro tratamentos em cada experimento (Nitossolo e Cambissolo) e cada tratamento apresentava duas repetições de campo, houve um total de oito parcelas por área, totalizando 16 parcelas. A configuração e disposição das parcelas nas duas áreas experimentais podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 – Disposição dos tratamentos 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de DLS na área experimental do Nitossolo (A) e do Cambissolo (B).



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2013.

O início do trabalho na área experimental de São José do Cerrito (Nitossolo) começou subsequente à pesquisa conduzida por Mecabô Júnior (2013) sobre a cultura do nabo forrageiro, no final da safra do outono/inverno de 2013. Ao fim do ciclo do nabo forrageiro, este foi cortado e deixado sobre o solo, servindo como cobertura morta, em sequência a soja foi semeada. Na presente pesquisa foram adotados os mesmos tratamentos avaliados no trabalho de Mecabô Júnior (2013).

A preparação da área experimental de Lages, bem como, o estabelecimento dos tratamentos, começou depois de encerradas as atividades do experimento conduzido por Ramos (2013), final da safra do outono/inverno de 2012. A partir deste momento o solo não sofreu mais nenhum tipo de interferência (manejo), ocorrendo o desenvolvimento de plantas espontâneas, predominantemente, de capim papuã (*Brachiaria plantaginea*). Diante disso, em abril de 2013 essa cobertura foi cortada e retirada das parcelas.

Após, todas as parcelas foram lavradas com arado de três discos por duas vezes, em dias diferentes, no sentido do declive e no sentido oposto ao declive. Tais parcelas, também, foram submetidas a uma única gradagem, no sentido oposto ao declive. Em sequência, em julho de 2013, foi semeada aveia preta de forma manual e a lanço em todas as parcelas com o objetivo de uniformizar a área. Para propiciar um melhor contato entre solo e semente, facilitando a germinação das sementes de aveia preta, foi passado rastelo após a distribuição das mesmas. Ao fim de seu ciclo a aveia preta foi cortada e deixada sobre o solo, servindo como cobertura morta. Após, a soja foi semeada.

5.5 SEMEADURA DA SOJA

A soja foi semeada em novembro de 2013, com auxílio de plantadeira manual, sobre o Nitossolo com resíduo de nabo forrageiro e sobre o Cambissolo com resíduo de aveia preta (Figura 4).

Figura 4 – Semeadura da soja.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Foram utilizadas sementes da cultivar Brasmax Força RR. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m e sete foi o número de linhas por parcela experimental. Ao longo do ciclo da soja, aplicações de herbicida, inseticida e fungicida foram realizadas para controle de plantas invasoras, insetos e fungos, respectivamente.

5.6 APLICAÇÃO DO DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS

A aplicação de DLS sobre a superfície do solo foi realizada uma única vez sobre a cultura da soja em cada solo, logo após a germinação e um dia antes do primeiro teste de chuva simulada.

A criação de suínos da qual se obteve o DLS, estava localizada nas dependências do CEDUP, no caso da área experimental de São José do Cerrito, e CAV/UDESC, no caso da área experimental de Lages, cujos animais eram criados em regime de confinamento. O DLS consistia de uma mistura de fezes, urina, água e demais resíduos, provenientes da limpeza das instalações e ficava armazenado em lagoas de estabilização até o momento do uso. Das lagoas o DLS foi retirado com auxílio de distribuidores específicos e transportado até as respectivas áreas experimentais, para ser aplicado de forma manual com auxílio de regadores (Figura 5).

Figura 5 – Aplicação de dejeto líquido de suínos sobre a soja.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Quanto à aplicação de DLS, é importante salientar que, na área de Lages esta foi realizada pela segunda vez, enquanto, na área de São José do Cerrito, pela quarta vez. Assim, ambas as áreas já haviam recebido aplicação de DLS, nas mesmas doses propostas neste

trabalho, porém em cultivos anteriores. Em Lages o DLS já havia sido aplicado no cultivo de aveia preta e em São José do Cerrito nos de aveia preta, milho e nabo forrageiro.

5.7 TESTES DE CHUVA SIMULADA E SIMULADORES DE CHUVA

O conjunto das chuvas aplicadas, em um único dia, nos diferentes tratamentos, constituía-se de um teste. Em cada tratamento foram aplicados quatro testes de chuva simulada, sendo cada chuva com intensidade constante e planejada para 65 mm h^{-1} e duração de 90 minutos. Apesar de ter sido planejada uma intensidade de 65 mm h^{-1} , pequenas variações aconteceram e estas podem ser observadas na Tabela 4 que mostra a altura de chuva.

Tabela 4 – Intensidade da chuva simulada por parcela e teste de chuva no Nitossolo e Cambissolo.

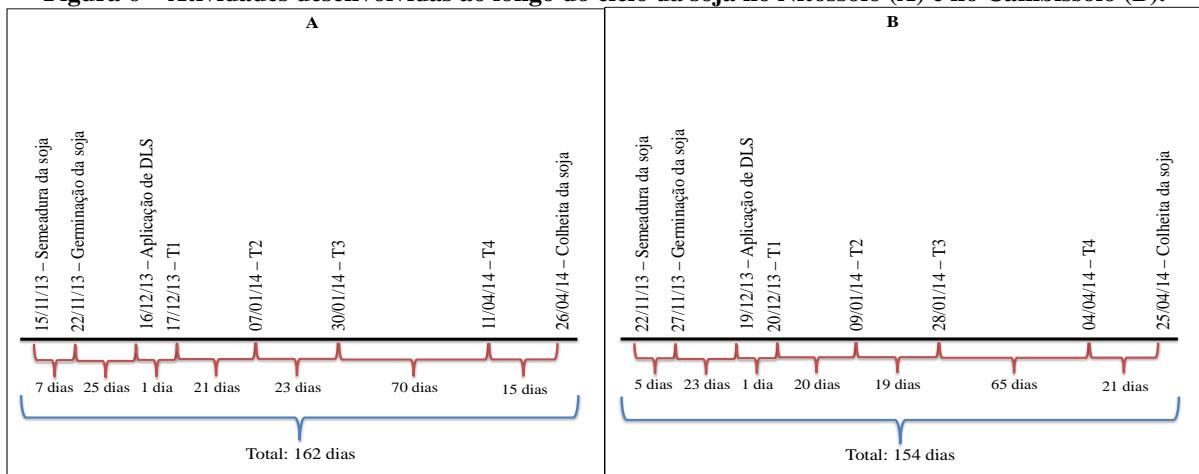
Tratamento	Parcela	Nitossolo				Cambissolo					
		Chuva Aplicada (mm h^{-1})				Chuva Aplicada (mm h^{-1})					
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4		
DLS 0	P7	62	58	69	68	DLS 0	P4	66	60	64	65
	P10	65	61	64	69		P11	66	61	65	67
DLS 50	P3	66	63	67	67	DLS 50	P2	61	60	64	62
	P6	70	62	66	69		P12	66	61	65	67
DLS 100	P4	66	63	67	67	DLS 100	P3	66	60	64	65
	P5	70	62	66	69		P8	63	63	63	65
DLS 200	P8	62	58	69	68	DLS 200	P1	61	60	64	62
	P9	65	61	64	69		P7	63	63	63	65

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

O primeiro teste de chuva (T1) foi realizado um dia após a aplicação do DLS. Os testes subsequentes (T2 e T3) ocorreram em intervalos aproximados de vinte dias e o último teste (T4) ocorreu após um intervalo de 70 e 65 dias no Nitossolo e no Cambissolo, respectivamente. É importante ressaltar que entre os testes de chuva simulada, T1, T2, T3 e T4, houve influência da chuva natural. A altura da chuva natural que ocorreu entre os testes de chuva simulada pode ser observada no Anexo A.

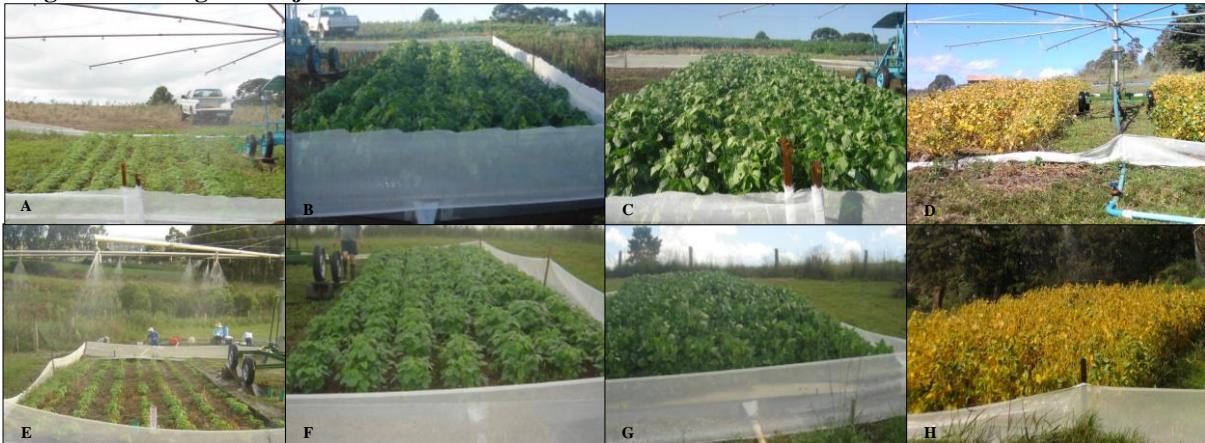
Na Figura 6 pode ser observado um esquema com a duração do ciclo da soja em cada experimento, bem como, as datas de semeadura, germinação e colheita da soja, de aplicação do DLS e de realização dos testes de chuva. Na Figura 7 pode ser observado o tamanho em que a soja se encontrava em cada teste de chuva simulada.

Figura 6 – Atividades desenvolvidas ao longo do ciclo da soja no Nitossolo (A) e no Cambissolo (B).



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 7 – Estágio da soja em cada teste de chuva simulada realizado sobre o Nitossolo e o Cambissolo.



Nitossolo: T1 (A), T2 (B), T3 (C) e T4 (D); Cambissolo: T1 (E), T2 (F), T3 (G) e T4 (H).

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

As chuvas foram aplicadas com o auxílio de dois simuladores de chuva de braços rotativos (Figura 8). Um do Tipo Swanson, em que a movimentação dos braços do simulador é pela energia de um motor, desenvolvido por Swanson (1965) e utilizado no experimento conduzido sobre o Nitossolo. Outro do Tipo Empuxo, movimentação dos braços do simulador pela energia da água, desenvolvido por Bertol et al. (2012) e utilizado no experimento conduzido sobre o Cambissolo.

Cada simulador de chuva tem algumas particularidades, como tipo de material usado em sua construção e princípio de funcionamento. Entretanto, ambos contêm um chassi com quatro rodas na sua base. Sobre o chassi está erguida uma torre central por onde a água é impulsionada até os braços situados acima. Os braços, em número de 10, têm 7,5 m de comprimento cada um. Em cada braço estão dispostos três registros e cada um sustenta um aspersor tipo S.S.CO. VEEJET 80/100 (MEYER; McCUNE, 1958).

Figura 8 – Simulador de chuva do Tipo Swanson utilizado sobre o Nitossolo (A) e do Tipo Empuxo utilizado sobre o Cambissolo (B).



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Os registros e aspersores, em número de 30, estão distribuídos nos braços de maneira que formam uma espiral concêntrica perfeita no conjunto dos braços. A altura dos aspersores do simulador é de 2,5 m em relação ao nível do terreno. Para obter a intensidade planejada de 65 mm h^{-1} foram abertos apenas 15 bicos a uma pressão de 12,3 psi. O controle da pressão foi feito em um manômetro posicionado na tubulação que conduz a água até o simulador de chuva, a 5 m de distância do centro do simulador.

O suprimento de água, proveniente de um rio, no caso do experimento conduzido sobre o Nitossolo, e um açude, no caso do experimento conduzido sobre o Cambissolo, foi feito através de um conjunto motobomba. A água foi direcionada até os simuladores de chuva através de uma tubulação de PVC com 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento cada um, montados antes do início de cada teste de chuva simulada.

A área de molhamento do solo pelo simulador de chuva Tipo Swanson é de $226,98 \text{ m}^2$, já a do simulador Tipo Empuxo é de $314,16 \text{ m}^2$. Essas áreas são suficientes para, simultaneamente, afetar duas parcelas experimentais espaçadas 3,5 m entre si. A distância entre os blocos composto de duas parcelas é de cerca de 4 m, no Nitossolo, e 5 m, no Cambissolo, um do outro.

5.8 DETERMINAÇÕES NO SOLO

Os solos, Cambissolo e Nitossolo, foram caracterizados, antes e após a pesquisa, quanto à macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT) a partir de amostras indeformadas, bem como, estabilidade de agregados em água (DMP), pH em água,

fósforo (P) e potássio (K) disponível e carbono orgânico total (COT) a partir de amostras deformadas.

No Nitossolo a coleta de solo denominada “antes” foi realizada nove dias antes do plantio da soja, sobre o resíduo de nabo forrageiro. Já no Cambissolo, essa coleta foi realizada durante o cultivo da aveia, antes da aplicação de DLS sobre a aveia. Assim, a primeira coleta do Nitossolo tem influência de aplicações de DLS anteriores, enquanto que a primeira coleta do Cambissolo não, pois antes da aveia nunca havia sido aplicado DLS nesse solo. A coleta denominada “após” foi realizada no mesmo dia em que foi efetivada a colheita da soja, em ambos os solos.

As amostras de solo foram coletadas nas camadas: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; e 10-20 cm, em um único ponto por parcela, com auxílio de anéis metálicos para as amostras indeformadas e de recipientes plásticos de aproximadamente 1,5 L para as amostras deformadas. As trincheiras para coleta do solo foram abertas manualmente com pá reta, os anéis foram cravados com auxílio de batedor e marreta e os recipientes de plástico foram enchidos com o auxílio de espátula de pedreiro.

As amostras com estrutura preservada (indeformada) foram processadas assim que chegaram ao laboratório. Amostras com estrutura alterada (deformada) foram secas ao ar (TFSA), foram peneiradas em peneira de 2 mm de diâmetro e acondicionadas em embalagens até o processamento. Para o DMP as amostras foram preparadas com a umidade próxima da friabilidade.

A Ma, Mi e PT foram determinadas pelo método do anel volumétrico com uso de mesa de tensão de areia (REINERT; REICHERT, 2006). A estabilidade de agregados foi determinada pelo método de via úmida padrão com agitação vertical de agregados em água nas peneiras de 4,76; 2; 1 e 0,25 mm, sendo os resultados expressos em diâmetro médio ponderado segundo Kemper e Chepil (1965).

O pH em água foi determinado por potenciometria. Análises de P e K disponíveis foram realizadas seguindo o método de extrator duplo ácido (Mehlich-1), protocolados por Tedesco et al. (1995). As leituras de P disponível foram realizadas por espectrofotometria de absorção molecular na região visível, modelo Spekol 1300, marca Analytik Jena; de K disponível por espectrometria de emissão atômica, modelo DM-62, marca Digimed.

O COT foi determinado pelo laboratório de rotina do CAV/UDESC através do método colorimétrico descrito por Van Raij et al. (2001). As leituras foram realizadas no mesmo espectrofotômetro usado para as leituras do P disponível.

A partir dos valores de COT foram estimados os valores de matéria orgânica (MO), por meio do fator de conversão “Van Bemmelen” de 1,724, comumente usado para amostras de solo. Além da MO, também foi estimado o nitrogênio (N) no solo, pois o mesmo não foi analisado. Os cálculos para tais estimativas estão descritos mais à frente no item 5.12.2.

5.9 TEOR DE ÁGUA NO SOLO ANTES DAS CHUVAS SIMULADAS

Imediatamente antes de iniciar cada uma das chuvas simuladas, foram coletadas amostras deformadas de solo para determinação do conteúdo de água no solo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. As amostras foram coletadas com um trado holandês, em um único ponto por parcela. O teor de água no solo foi calculado na base gravimétrica, conforme descrito por Embrapa (1997).

5.10 DETERMINAÇÕES NA ÁGUA DOS ESCOAMENTOS

Durante a chuva simulada foram coletadas amostras do escoamento superficial e subsuperficial (Figura 9), em intervalos de 10 minutos uma das outras, após o início dos respectivos fluxos de água.

Figura 9 – Demonstração da coleta do escoamento superficial (A) e do escoamento subsuperficial (B).



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Foram coletadas amostras do escoamento superficial, com auxílio de proveta ou balde graduado, para medir o volume e, com auxílio de um cronômetro, para marcar o tempo de duração de cada coleta, com a finalidade de se calcular a taxa de escoamento superficial (COGO, 1981). Neste mesmo momento, foram coletadas amostras deste escoamento, em potes de 0,75 L, para a determinação da quantidade de sedimentos e, também, foram coletadas

amostras do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial, em potes de 0,25 L, para a determinação de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) nitrito (NO_2^-), fósforo (P) e potássio (K^+).

A determinação da quantidade de sedimentos nas amostras de escoamento superficial foi realizada em laboratório. Assim que chegaram ao laboratório as amostras foram pesadas. Após, os frascos permaneceram em repouso sobre uma bancada por 72 h para ocorrer à floculação e decantação das partículas de sedimentos dispersas. Para acelerar esse processo foram adicionadas 3 a 4 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) em cada frasco. Depois deste período, com o auxílio de um sifão, foi retirado o excesso de água das amostras e estas foram levadas para uma estufa, onde permaneceram a uma temperatura de 50° C até completa secagem, sendo, novamente pesadas.

Imediatamente após serem coletadas as amostras líquidas para análise dos nutrientes foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo e ao darem entrada no laboratório foram preservadas em temperatura entre -1 e -4 °C até o momento da análise.

Previamente à análise dos nutrientes, as amostras foram descongeladas e diretamente analisadas, no caso de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- e K^+ . Já para P, após o descongelamento, as amostras foram filtradas em membrana de éster de celulose de 0,45 micrômetros.

As concentrações de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- e K^+ na água do escoamento superficial e na água do escoamento subsuperficial foram determinadas por cromatografia de troca iônica, modelo ICS-90, marca Dionex. O método da cromatografia iônica foi baseado nas normas estabelecidas pela USEPA - *Method* 300.0 (PFAFF, 1993) e USEPA - *Method* 300.1 (HAUTMAN; MUNCH, 1997).

Para obtenção das concentrações de P na água do escoamento superficial e subsuperficial o método usado foi o de Murphy e Riley (1962). A leitura foi realizada por espectrofotômetro de absorção molecular na região visível, modelo Spekol 1300, marca Analytik Jena.

5.11 DETERMINAÇÕES NO DLS E NA SOJA

No DLS foram determinados os mesmos nutrientes analisadas no escoamento superficial e subsuperficial, NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ , juntamente com o pH e a massa seca (MS).

O pH foi determinado por potenciômetro e a MS do DLS foi determinada a partir da pesagem das amostras e posterior secagem em estufa à 105 °C, onde permaneceram até peso constante. As amostras secas foram, novamente, pesadas e a MS pode ser calculada.

Para a determinação dos nutrientes no DLS foi realizada a separação das fases sólida e líquida das amostras, sendo que a fase líquida pode ser lida diretamente por cromatografia de troca iônica. Já para a fase sólida foi necessário, primeiramente, a realização de um processo de digestão e extração, respectivamente, para a leitura dos cátions e ânions. Para a digestão dos cátions seguiu-se o método USEPA 3051A (USEPA, 2007), enquanto que, para a extração dos ânions foi adotada a metodologia elaborada por Stanisic et al. (2011). A caracterização do DLS pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização do DLS aplicado sobre o Nitossolo e sobre o Cambissolo.

Nitossolo		Cambissolo			
Fração da Amostra	Sólida + Líquida	Fração da Amostra	Sólida + Líquida		
pH	6,4	pH	7,0		
MS (%)	0,35	MS (%)	0,38		
Fração da Amostra	Sólida (mg kg ⁻¹)	Líquida (mg L ⁻¹)	Fração da Amostra	Sólida (mg kg ⁻¹)	Líquida (mg L ⁻¹)
NO ₃ ⁻	14869	2,77	NO ₃ ⁻	11905	7,23
NH ₄ ⁺	n.a.	20,81	NH ₄ ⁺	n.a.	31,82
NO ₂ ⁻	126	0,11	NO ₂ ⁻	337	0,22
P	1316	29,55	P	5444	21,31
K ⁺	18578	38,74	K ⁺	26120	86,18

MS: massa seca; n.a.: não detectado pelo aparelho.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Em relação à cultura soja, determinou-se a população de plantas, a MS da parte aérea (resíduo + grãos) e a produtividade de grãos na colheita.

Primeiramente, foram cortadas rente ao solo e contadas todas as plantas presentes em 15 m lineares (3 transectos de 5 m) em cada parcela de 38,5 m². Assim, foi estimada a população de plantas por hectare. Essas mesmas plantas foram pesadas, obtendo-se o peso do resíduo + grãos de 15 m lineares. Após as plantas foram separadas em duas frações: apenas grãos e apenas resíduos, sendo os grãos pesados separadamente (peso dos grãos em 15 m lineares).

Da fração de resíduos e da fração de grãos foi tirada uma fração menor para a determinação da umidade em estufa a 105 °C e a 65 °C, respectivamente, até peso constante. Após a correção da umidade, a MS da parte aérea (resíduo + grãos) e a produtividade de grãos foram calculadas. A produtividade de grãos foi corrigida para 13% de umidade.

Cabe ser ressaltado que, assim como faz o agricultor, as raízes das plantas de soja foram deixadas no solo.

Além do DLS, ainda, foram feitas análises na água usada para a realização das chuvas simuladas, oriunda de um rio, no caso do experimento realizado sobre o Nitossolo, e de um açude, no caso do experimento realizado sobre o Cambissolo. Foram determinados, NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P, K⁺ e pH. O pH foi 6,9 e 6,6 respectivamente, para a água do rio e do açude. Já as concentrações dos nutrientes foram insignificantes, não sendo necessária a sua apresentação.

5.12 CÁLCULOS

Nos cálculos envolvendo volume/massa de DLS, 1 L de DLS foi considerado igual a 1 kg de DLS, ou seja sua densidade foi considerada igual a da água = 1 g cm⁻³.

5.12.1 DLS

- Volume de DLS aplicado: Equação 1 foi aplicada.

$$V = \frac{\left[\left(\frac{A * D}{10.000} \right) * 1000 \right]}{38,5} \quad (1)$$

Onde,

V : volume de DLS aplicado [L m⁻²];

A : área da parcela [m²];

D : dose de DLS [m³ ha⁻¹].

Na Equação 1 a divisão por 10.000 foi feita para poder estimar o valor em m² e não ha. A multiplicação por 1.000 foi para transformar m³ em L. Já a divisão por 38,5 (área da parcela experimental) foi para saber o volume por m².

- Massa seca do DLS: conforme Equação 2.

$$MS = \frac{DLS_{pós\ estufa}}{DLS_{pré\ estufa}} \quad (2)$$

Onde,

MS : massa seca do DLS [kg kg⁻¹];

$DLS_{pós\ estufa}$: massa do DLS pós estufa [kg];

$DLS_{pré\ estufa}$: massa do DLS pré estufa [kg];

- Conteúdo sólido do DLS: foi aplicada a Equação 3.

$$DLS_S = V * MS \quad (3)$$

Onde,

DLS_S : conteúdo sólido do DLS [kg m^{-2}];

V : volume de DLS aplicado [L m^{-2}];

MS : massa seca do DLS [kg kg^{-1}].

- Conteúdo líquido do DLS: foi aplicada a Equação 4.

$$DLS_L = V - DLS_S \quad (4)$$

Onde,

DLS_L : conteúdo líquido do DLS [L m^{-2}];

DLS_S : conteúdo sólido do DLS [kg m^{-2}];

V : volume de DLS aplicado [L m^{-2}];

- Massa de cada nutriente aplicado via DLS: calculada conforme Equação 5.

$$MT = [(CDLS_S * DLS_S) + (CDLS_L * DLS_L)] * 0,01 \quad (5)$$

Onde,

MT : massa do nutriente [kg ha^{-1}];

$CDLS_S$: concentração do nutriente no conteúdo sólido do DLS [mg kg^{-1}];

DLS_S : conteúdo sólido do DLS [kg m^{-2}];

$CDLS_L$: concentração do nutriente no conteúdo líquido do DLS [mg L^{-1}];

DLS_L : conteúdo líquido do DLS [L m^{-2}].

Na Equação 5 a multiplicação por 0,01 foi feita para transformar mg m^{-2} em kg ha^{-1} .

5.12.2 Atributos químicos e físicos do solo

- Estimativa da concentração de N no solo: o N no solo não foi analisado e por isso foi estimado a partir dos valores de MO, conforme Equação 6.

$$N = MO * 0,05 * 0,03 * \left(\frac{5}{12} \right) \quad (6)$$

Onde,

N : concentração de N no solo [mg kg^{-1}];

MO : concentração da MO no solo [mg kg^{-1}].

Estabeleceu-se que 5% (0,05) da MO foi convertida em N, que a taxa de mineralização foi de 3% (0,03) ao ano e, aproximadamente, 5 meses foi a duração do ciclo da soja (BISSANI et al., 2008).

- Massa total: Para saber a massa total de cada nutriente no solo, antes e após a condução do experimento, foi aplicada a Equação 7.

$$MT = \sum_{i=1}^n \frac{C_i * Ds_i * V_i}{1.000} \quad (7)$$

Onde,

MT : massa do nutriente em um m^2 de solo, na camada de 0 a 20 cm [$mg\ m^{-2}$];

C : concentração do nutriente em cada camada de solo [$mg\ kg^{-1}$];

Ds : densidade do solo em cada camada [$g\ cm^{-3}$];

V : volume de solo em cada camada [$cm^3\ m^{-2}$].

Na Equação 7 a divisão por 1.000 foi feita para transformar a densidade de g para kg. Para estimar a massa do nutriente em $kg\ ha^{-1}$ multiplicou-se o valor da massa em $mg\ m^{-2}$ por 0,01. Além disso, os cálculos foram realizados para um volume referência de solo: 20 cm de camada em um m^2 de área. Na Tabela 6 podem ser observadas as camadas de solo avaliadas, suas respectivas espessuras e volumes de solo.

Tabela 6 – Camadas de solo com a respectiva espessura e volume de solo.

Camadas (cm)	Espessura da Camada (cm)	Volume de Solo ($cm^3\ m^{-2}$)
0-2,5	2,5	25.000
2,5-5	2,5	25.000
5-10	5	50.000
10-20	10	100.000
Total	20	200.000

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

- Média ponderada: para o pH, PT, Ma, Mi e DMP foi aplicada média ponderada para saber o valor de cada atributo na camada de 0 a 20 cm, conforme Equação 8.

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (8)$$

Onde,

MP : média ponderada do atributo na camada de 0 a 20 cm;

P : valor do atributo em cada camada de solo;

E : espessura de cada camada de solo [cm].

5.12.3 Altura e intensidade das chuvas

A altura e a intensidade das chuvas simuladas foram determinadas por meio de 20 pluviômetros dispostos estrategicamente ao redor das parcelas, dentro da área de molhamento do simulador de chuva. O pluviômetro nada mais é do que uma latinha de metal fixada em uma estrutura de madeira que é cravada no solo para fixação do pluviômetro na superfície do solo. A área de captação de cada pluviômetro é de 53,85 cm². As leituras dos pluviômetros foram feitas logo após os 90 minutos de cada chuva simulada por meio de provetas graduadas.

- Altura da chuva: Equação 9 foi aplicada.

$$H = Ic * T \quad (9)$$

Onde:

H : altura da chuva (mm);

Ic : intensidade da chuva aplicada (mm h⁻¹);

T : duração da chuva (h).

- Intensidade da chuva: utilizou-se a Equação 10.

$$Ic = \left(\left(\frac{V_m}{A} \right) / T \right) \quad (10)$$

Onde:

Ic : intensidade da chuva [mm h⁻¹];

V_m : volume médio lido nas provetas [L];

A : área de captação do pluviômetro [m²];

T : duração da chuva [h].

A unidade de Ic na equação 10 é L m⁻² h⁻¹, porém, como 1 L m⁻² = 1 mm adotou-se a unidade mm h⁻¹.

5.12.4 Escoamento

- Taxa de escoamento: com aplicação da Equação 11.

$$q = \frac{V}{t_c} \quad (11)$$

Onde,

q : taxa de escoamento em cada tempo de coleta [$L \text{ min}^{-1}$];

V : volume do escoamento em cada tempo de coleta [L];

t_c : duração da coleta em cada tempo de coleta [min].

Na Equação 11, para transformar a taxa de escoamento em mm h^{-1} , multiplicou-se a taxa de escoamento em $L \text{ min}^{-1}$ por 60 (para transformar minutos em horas) e depois se dividiu por $38,5 \text{ m}^2$ (área da parcela experimental), no caso do escoamento superficial, ou se dividiu por $0,16 \text{ m}^2$ (área do lisímetro de Ebermayer), no caso do escoamento subsuperficial.

- Escoamento total: com aplicação da Equação 12.

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = q_i * \Delta t_i \quad (12)$$

Onde,

Q : escoamento total em cada teste de chuva [L];

Q_i : escoamento em cada tempo de coleta [L];

q : taxa de escoamento em cada tempo de coleta [$L \text{ min}^{-1}$];

Δt : intervalo de tempo entre cada tempo de coleta [min].

Na Equação 12, para transformar o escoamento em mm, dividiu-se o escoamento em L por $38,5 \text{ m}^2$ (área da parcela experimental), no caso do escoamento superficial, ou se dividiu por $0,16 \text{ m}^2$ (área do lisímetro de Ebermayer), no caso do escoamento subsuperficial.

O intervalo de tempo (Δt_i), na Equação 12, é a diferença de tempo entre cada tempo de coleta ($t_1, t_2, t_3 \dots t_n$) a partir do momento em que o escoamento iniciou. O início do escoamento é considerado como t_1 , a primeira coleta de escoamento t_2 , a segunda coleta de escoamento t_3 e assim por diante. O primeiro Δt (Δt_1) é zero. O segundo Δt (Δt_2) e os demais Δt ($\Delta t_3, \Delta t_4 \dots \Delta t_n$) foram calculados conforme Equação 13.

$$\Delta t_i = \frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{2} \quad (13)$$

Onde,

Δt : intervalo de tempo entre cada tempo de coleta [min];

t : tempo de coleta [min].

5.12.5 Sedimentos

- Massa de sedimentos: Equação 14 foi aplicada.

$$M_s = M_{ps} - M_p \quad (14)$$

Onde,

M_s : massa de sedimentos [g];

M_{ps} : massa do pote mais sedimentos [g];

M_p : massa do pote [g].

- Concentração de sedimentos no escoamento superficial: foi aplicada a Equação 15.

$$C_{sed_i} = \frac{M_{sed_i}}{V_{água_i}} \quad (15)$$

Onde,

C_{sed} : concentração de sedimentos no escoamento superficial em cada tempo de coleta [g L^{-1}];

M_{sed} : massa de sedimentos em cada tempo de coleta [g];

$V_{água}$: volume de água no pote em cada tempo de coleta [L].

- Massa total de sedimentos transportados em cada teste de chuva: aplicou-se a Equação 16.

$$M = \sum_{i=1}^n Md_i = C_{sed_i} * Qi_i \quad (16)$$

Onde,

M : massa total de sedimentos transportados em cada teste de chuva [g];

Md : massa de sedimentos em cada tempo de coleta [g];

C_{sed} : concentração de sedimentos em cada tempo de coleta [g L^{-1}];

Qi : escoamento superficial em cada tempo de coleta [L].

Na Equação 16, para estimar a massa de sedimentos em kg ha^{-1} dividiu-se o valor de sedimentos em gramas por 1.000 (para transformar em kg), depois se multiplicou por 10.000 ($1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$) e dividiu-se por $38,5 \text{ m}^2$ (área da parcela experimental).

- Concentração média dos sedimentos em cada teste de chuva: utilizou-se a Equação 17.

$$\dot{X}p_{teste} = \left(\frac{M}{Q} \right) * 100 \quad (17)$$

Onde,

$\dot{X}p_{teste}$: concentração média dos sedimentos em cada teste de chuva [mg L^{-1}];

M : massa total de sedimentos transportados em cada teste de chuva [kg ha^{-1}];

Q : escoamento total em cada teste de chuva [mm].

A multiplicação por 100 na Equação 17 é para converter ha em m^2 e ao mesmo tempo para converter kg em mg.

- Concentração média dos sedimentos, considerando os quatro testes de chuva: aplicou-se a Equação 18.

$$\dot{X}p_{4testes} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (18)$$

Onde,

$\dot{X}p_{4testes}$: concentração média dos sedimentos, considerando os quatro testes de chuva [mg L^{-1}];

$\dot{X}p_{teste}$: concentração média dos sedimentos em cada teste de chuva [mg L^{-1}];

Q : escoamento total em cada teste de chuva [mm].

5.12.6 Nutrientes no escoamento

Para calcular a massa dos nutrientes em cada tempo de coleta, a massa total transportada em cada teste de chuva, a concentração média em cada teste de chuva e considerando os quatro testes foram seguidos os mesmos procedimentos de cálculo usados para os sedimentos, Equações 16, 17 e 18. Apenas para estimar a massa total do nutriente em kg ha^{-1} no escoamento subsuperficial, ao invés de usar o valor de $38,5 \text{ m}^2$ (área da parcela experimental) usou-se $0,16 \text{ m}^2$ (área do lisímetro de Ebermayer).

5.12.7 Infiltração de água no solo

A taxa de infiltração (i) e a infiltração total de água no solo (I) foram obtidas de forma indireta, pela diferença entre os dados de chuva e o escoamento superficial, conforme Equações 19 e 20, respectivamente.

$$i = Ic - q \quad (19)$$

Onde,

i : taxa de infiltração [mm h⁻¹];

Ic : intensidade da chuva aplicada [mm h⁻¹];

q : taxa de escoamento superficial em cada tempo de coleta [mm h⁻¹].

$$I = \sum_{i=1}^n Ii_i = H_i * Qi_i \quad (20)$$

Onde,

I : infiltração total em cada teste de chuva [mm];

Ii : infiltração em cada tempo de coleta [mm];

H : altura de chuva em cada tempo de coleta [mm];

Qi : escoamento superficial em cada tempo de coleta [mm].

5.13 RESOLUÇÃO

A resolução adotada para fins de comparação foi a CONAMA 357 (CONAMA, 2005). Ressalta-se que a comparação foi realizada para sedimentos, NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, e P, sendo que a resolução não apresenta limites para o K⁺. Para corpos hídricos de água doce de classe 1, classe 2 e classe 3 a resolução estabelece o limite de 500 mg L⁻¹ de sólidos dissolvidos totais; 10 mg L⁻¹ para NO₃⁻; 1,0 mg L⁻¹ para NO₂⁻; para P o valor varia de acordo com a classe e o fluxo lento, intermediário ou lótico do corpo hídrico e; para nitrogênio amoniacal total o valor, além de variar com a classe e tipo de fluxo do corpo hídrico, depende do pH da água. Neste trabalho adotou-se os valores mais restritivos, sendo assim, o limite para P é de 0,02 mg L⁻¹ e para nitrogênio amoniacal total é de 3,7 mg L⁻¹.

5.14 TRATAMENTO DOS DADOS

Quando apropriado, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, quando diferidas entre tratamentos, comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de significância, através do programa estatístico ASSISTAT 7.7 Beta (2016).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tópicos iniciais desse capítulo irão abordar os atributos químicos dos solos, atributos físicos dos solos, infiltração de água no solo, escoamento superficial, transporte de sedimentos e escoamento subsuperficial. Em sequência serão abordados os nutrientes em cada escoamento e por fim os dados da cultura.

Os resultados serão apresentados em gráficos e tabelas dispostos ao longo do texto. Em virtude da grande variação dos dados entre as repetições (parcelas de mesmo tratamento), a apresentação e discussão serão realizadas por parcela e não por tratamento (média de duas parcelas). Além disso, no início de cada tópico será relembrada a hipótese referente ao tema em questão para facilitar a leitura e o entendimento do assunto do tópico.

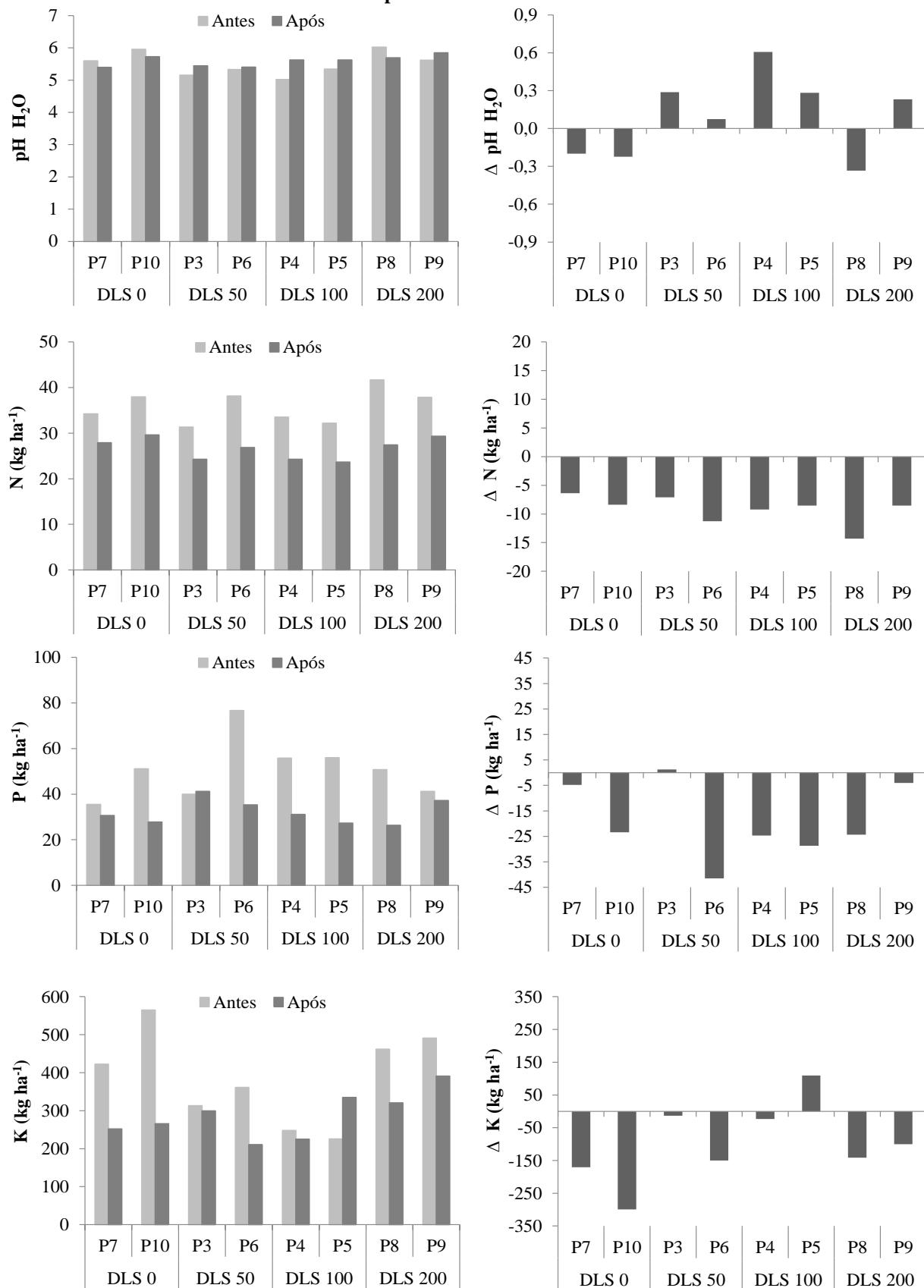
6.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Com a aplicação de doses crescentes de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) aplicadas no Nitossolo e no Cambissolo espera-se o aumento do pH em água devido a liberação de substâncias alcalinizantes durante a degradação do dejeto, do nitrogênio, fósforo e potássio devido ao aporte dos nutrientes via dejeto ao solo. Os valores encontrados para o Nitossolo são apresentados na Figura 10 e os valores encontrados para o Cambissolo estão dispostos na Figura 11.

Comparando os valores de pH do solo da coleta ao final (após) da pesquisa com os da coleta inicial (antes), nos dois solos, observou-se que no Nitossolo o valor de pH aumentou nas parcelas P3, P6, P4, P5 e P9, tendo diminuído nas parcelas P7, P10 e P8 (Figura 10). Já no Cambissolo, o pH aumentou nas parcelas P12, P3 e P1, e diminuiu nas demais, P4, P11, P2, P8 e P7 (Figura 11).

No Nitossolo (Figura 10), dentre as parcelas em que o solo recebeu DLS, apenas em uma delas (P8) o pH não aumentou. Já no Cambissolo (Figura 11), das parcelas em que o solo recebeu DLS, em uma de cada tratamento o pH aumentou e na outra o pH diminuiu. Além disso, nas parcelas que não receberam DLS, em ambos os solos, o pH diminuiu. Diante disso, pode-se dizer que o DLS afetou o pH dos solos, sendo mais efetivo sobre o Nitossolo, do que no Cambissolo. Porém, não foi possível observar uma tendência de aumento do pH conforme o aumento da dose, entre as parcelas que receberam DLS.

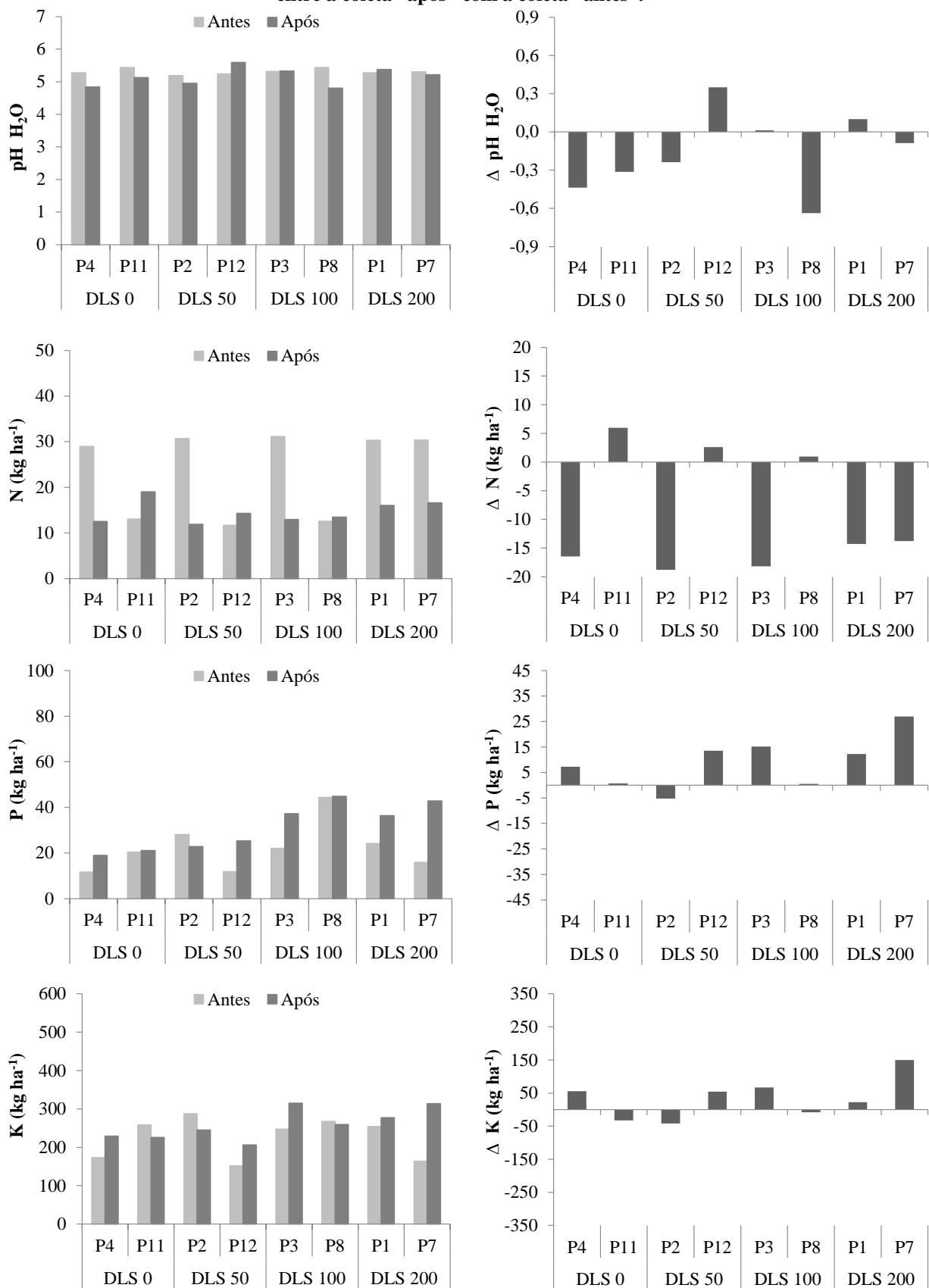
Figura 10 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no pH em H₂O, N, P e K do Nitossolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na soja e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.



*Foi realizada uma média ponderada dos valores obtidos para as camadas 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20 cm.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 11 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no pH em H₂O, N, P e K do Cambissolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na aveia e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.



*Foi realizada uma média ponderada dos valores obtidos para as camadas 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20 cm.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Sucessivas aplicações de dejeto suíno, 19 aplicações de $80\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ durante 100 meses, aumentaram os valores de pH de um Argissolo de 4,7 para 5,3 até uma profundidade de 8 cm (LOURENZI et al., 2011). Numa camada mais profunda, 0-20 cm, com duas aplicações de $80\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de DLS dentro de 156 dias o pH de um Latossolo Vermelho distroférreo variou de 4,52 para 4,79 (ASSMAN et al., 2007). Já em um Latossolo Vermelho distroférreo típico, com pH inicial de 5,4, ocorreu diminuição, onde passou para 4,8 na camada de 0-10 cm, após 12 anos de aplicação de DLS entre 80 e $100\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ (SCHERER, et al., 2007).

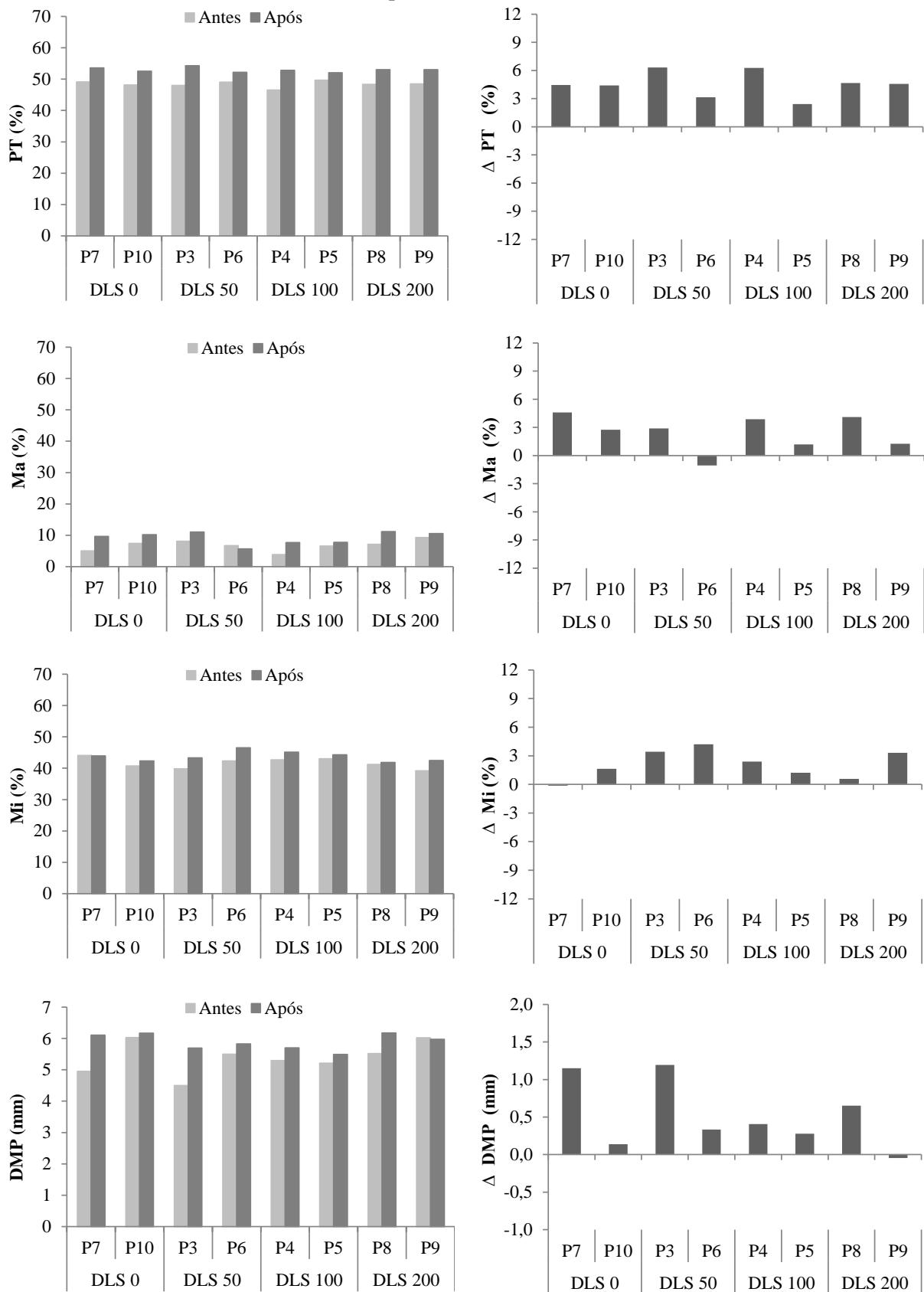
O aumento do pH do solo induzido pela adição de resíduos orgânicos pode ocorrer devido a liberação de substâncias alcalinizantes durante a degradação do dejeto (QUADRO et al., 2011); dissociação de carbonatos presentes no resíduo (CHANTIGNY et al., 2004) ou, oxidação rápida de ácidos graxos voláteis encontrados no dejeto (PAUL; BEAUCHAMP, 1989).

Quanto aos valores de N, P e K no Nitossolo e no Cambissolo, comparando os valores da coleta final (após) com os valores da coleta inicial (antes), observou-se que no Nitossolo os valores de N diminuíram em todas as parcelas e de P e K diminuíram em quase todas as parcelas, com exceção da parcela P3 (DLS 50) para P e da parcela P5 (DLS 100) para K. No Cambissolo os valores de N diminuíram em quatro parcelas (P4, P2, P3, P1 e P7) e aumentaram em três (P11, P12 e P8). Com exceção da parcela P2 (DLS 50), os valores de P aumentaram em todas as parcelas. Para o K os valores aumentaram nas parcelas P4, P12, P3, P1 e P7, enquanto diminuíram nas parcelas P11, P2 e P8. No entanto, em ambos os solos, os valores para N, P e K se mostraram irregulares entre as parcelas, não sendo possível perceber um aumento nestes conforme o aumento da dose de DLS.

6.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

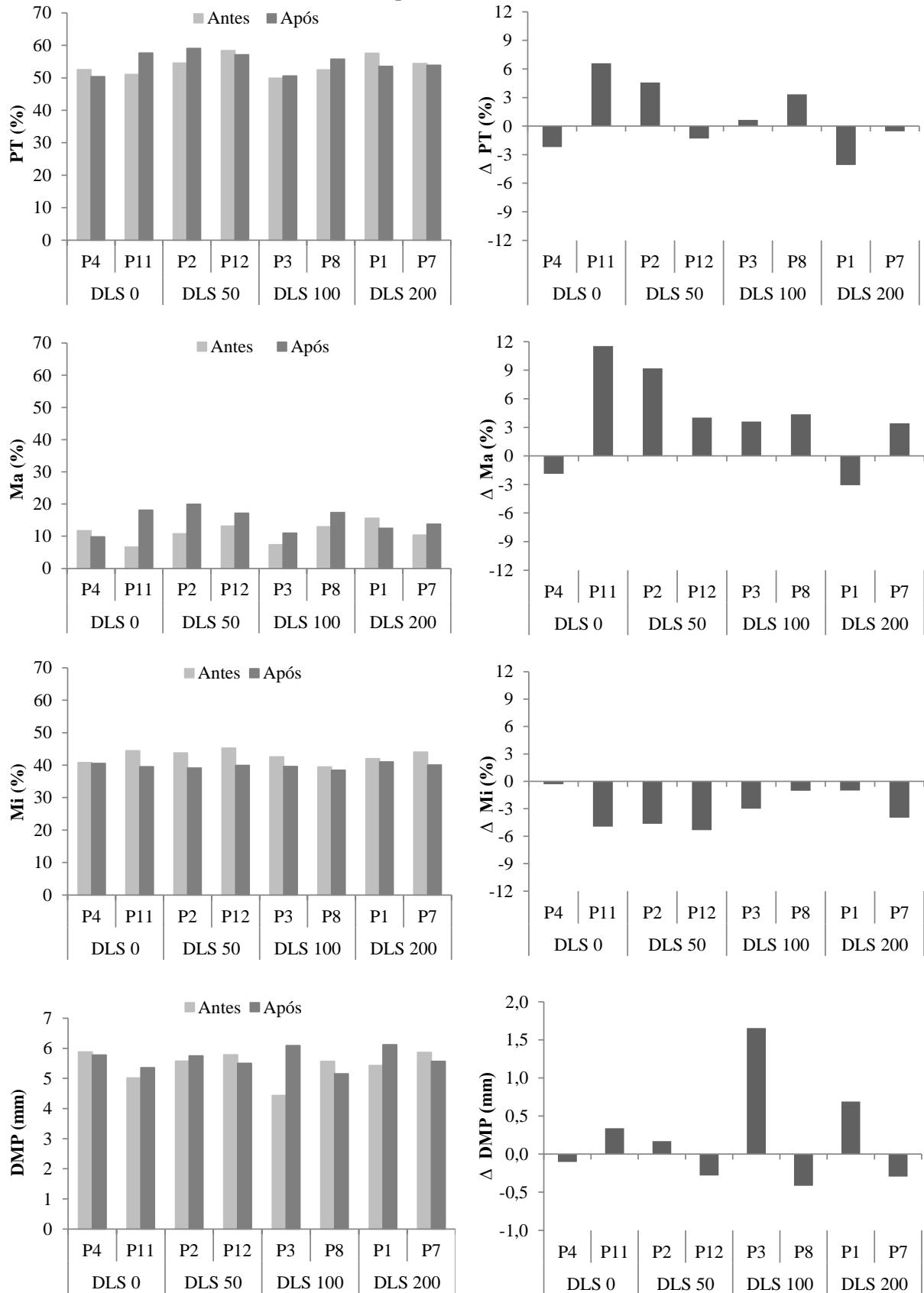
A aplicação de doses crescentes de DLS (0 , 50 , 100 e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$) no Nitossolo e no Cambissolo aumentam os valores de porosidade e estabilidade de agregados do solo em água devido ao aumento da matéria orgânica. A fim de testar essas hipóteses, foi determinada PT, Ma, Mi e DMP em amostras de solo coletadas no início (antes) e ao final (após) do experimento. Na Figura 12 podem ser observados os valores referentes ao Nitossolo e na Figura 13 os valores encontrados para o Cambissolo.

Figura 12 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na PT, Ma, Mi e DMP do Nitossolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na soja e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 13 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na PT, Ma, Mi e DMP do Cambissolo, na camada de 0-20 cm*, antes da aplicação de DLS na aveia e após a colheita da soja, e a diferença (Δ) entre a coleta “após” com a coleta “antes”.



*Foi realizada uma média ponderada dos valores obtidos para as camadas 0-2,5; 2,5-5; 5-10 e 10-20 cm.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Os valores de PT, considerando a média ponderada na camada de 0 a 20 cm e independente da coleta, variaram entre 47 e 54% no Nitossolo (Figura 12) e entre 50 e 59% no Cambissolo (Figura 13). Tais valores estão próximos de 50%, valor considerado ideal para o controle da erosão e conservação do solo e da água e para o desenvolvimento das plantas (KIEHL, 1979).

Os Ma são a rota principal para o movimento da água e ar no solo. Observando tais valores, a média ponderada na camada de 0 a 20 cm e independente da coleta, percebeu-se que no Nitossolo (Figura 12) a maioria dos valores de Ma permaneceram abaixo do nível crítico de 10% (REICHERT et al., 2003). No Cambissolo (Figura 13) os valores ficaram abaixo de 10% em apenas três parcelas, P4 na coleta “após” e, P11 e P3 na coleta de solo “antes”. Isso sugere que o Nitossolo não apresentou condições satisfatórias para o controle da erosão e conservação do solo e da água e para o desenvolvimento da soja.

A Mi, tanto no Nitossolo (Figura 12) como no Cambissolo (Figura 13), considerando a média ponderada na camada de 0 a 20 cm e independente da coleta, está muito acima da indicada por Reynolds et al. (2002) que se situa entre 15 a 25%. Esses maiores valores de Mi podem ser justificados pela granulometria desses solos, sendo que no Nitossolo predomina a fração argila e no Cambissolo as frações silte e argila. Dessa forma, as partículas dos solos tendem a se arranjarem de forma a estabelecerem um contato face a face, gerando uma estrutura mais adensada, fazendo com que predominem no solo os poros pequenos (microporos). Algo semelhante foi observado por Ribeiro et al. (2007).

Valores de referência devem ser definidos e consistem de valores máximos para dada propriedade e valores aceitáveis para qualidade do solo. Para propriedades físicas diferentes situações podem apresentar-se: menos é melhor, valor mínimo, valor ótimo, etc. No caso da estabilidade de agregados, medida através do DMP, mais é melhor (REICHERT et al., 2003). No presente trabalho os valores de DMP estão muito semelhantes entre os dois solos.

Fazendo a diferença dos valores dos atributos físicos da coleta de solo “após” com os valores da coleta de solo “antes”, observou-se que:

No Nitossolo (Figura 12), os valores dos atributos físicos do solo PT, Ma, Mi e DMP aumentaram em todas as parcelas, exceto a Ma na P6, a Mi na P7 e o DMP na P9.

No Cambissolo (Figura 13), a PT aumentou nas parcelas P11, P2, P3 e P8, diminuindo nas demais, P4, P12, P1 e P7. A Ma aumentou em todas as parcelas, exceto na P4 e P1, enquanto a Mi diminuiu em todas as parcelas. Já o valor de DMP aumentou nas parcelas P11, P2, P3 e P1 e diminuiu nas parcelas P4, P12, P8 e P7.

Com base nas alterações que ocorreram nos valores dos atributos pode-se perceber que não houve uma diferença clara entre os tratamentos. Ou seja, não houve diferença entre os tratamentos que receberam alguma dose de DLS ($50, 100$ e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$) e o que não recebeu DLS. Até mesmo, comparando-se somente as parcelas que receberam DLS, não foi possível perceber, por exemplo, que as do tratamento DLS 200 se destacaram das demais. Por isso, não se pode afirmar que a aplicação de DLS teve algum efeito sobre os atributos físicos dos solos.

Após quatro anos de aplicação de até $240\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de DLS no solo, não foram observadas alterações na porosidade e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distroférrico, em condição de cultivo com pastagem perene de Missioneira Gigante (AGNE; KLEIN, 2014). Seguindo a mesma tendência, após nove anos de aplicações de $5\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de cama de aviário, $40\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de DLS e $60\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ de dejeto líquido de bovinos num solo muito argiloso, não foram encontradas diferenças na densidade, na porosidade do solo, nem na estabilidade de agregados em água (VEIGA et al., 2009).

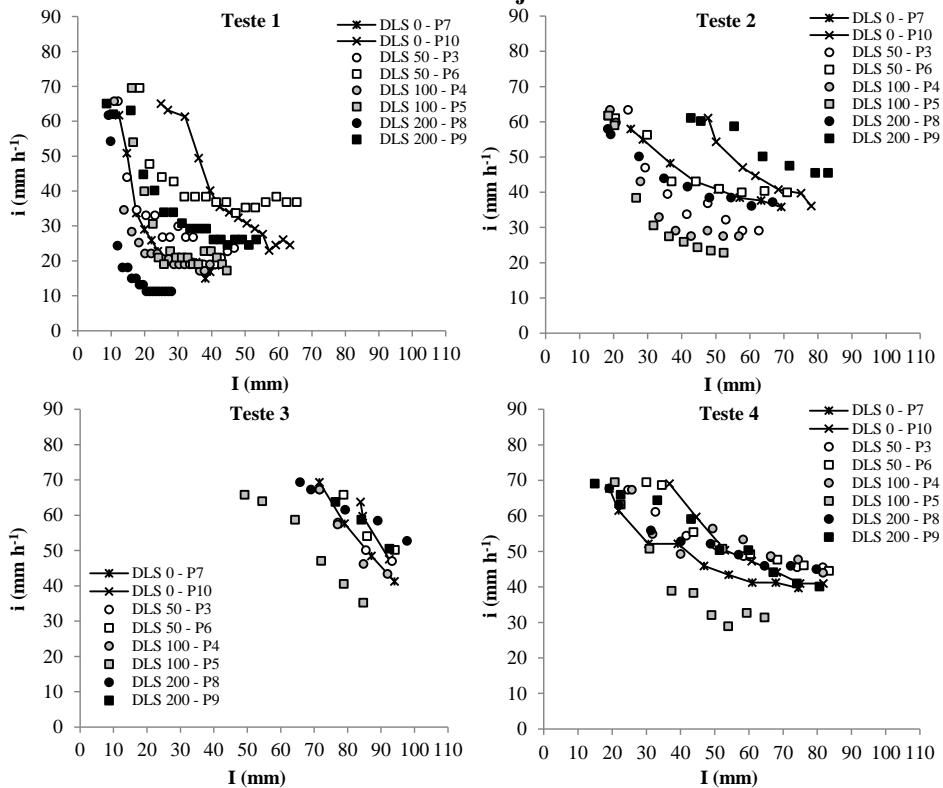
Isso mostra que mesmo com mais aplicações de DLS, por mais tempo, talvez diferenças nos atributos físicos não ocorram, lembrando que no Nitossolo foram realizadas 4 aplicações e no Cambissolo apenas 2. Por enquanto, é possível atribuir esse comportamento a heterogeneidade temporal e espacial natural de cada solo.

6.3 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Em função da melhora crescente dos atributos físicos, a infiltração de água no solo aumenta com o aumento da dose de DLS. Com o intuito de testar essa hipótese, doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$) foram aplicadas sobre a cultura da soja em dois solos, Nitossolo e Cambissolo, e quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) foram realizados. Durante cada teste de chuva, em intervalos de 10 minutos, foram coletados dados do escoamento superficial e, conhecendo os dados da chuva aplicada obtiveram-se os de infiltração por diferença.

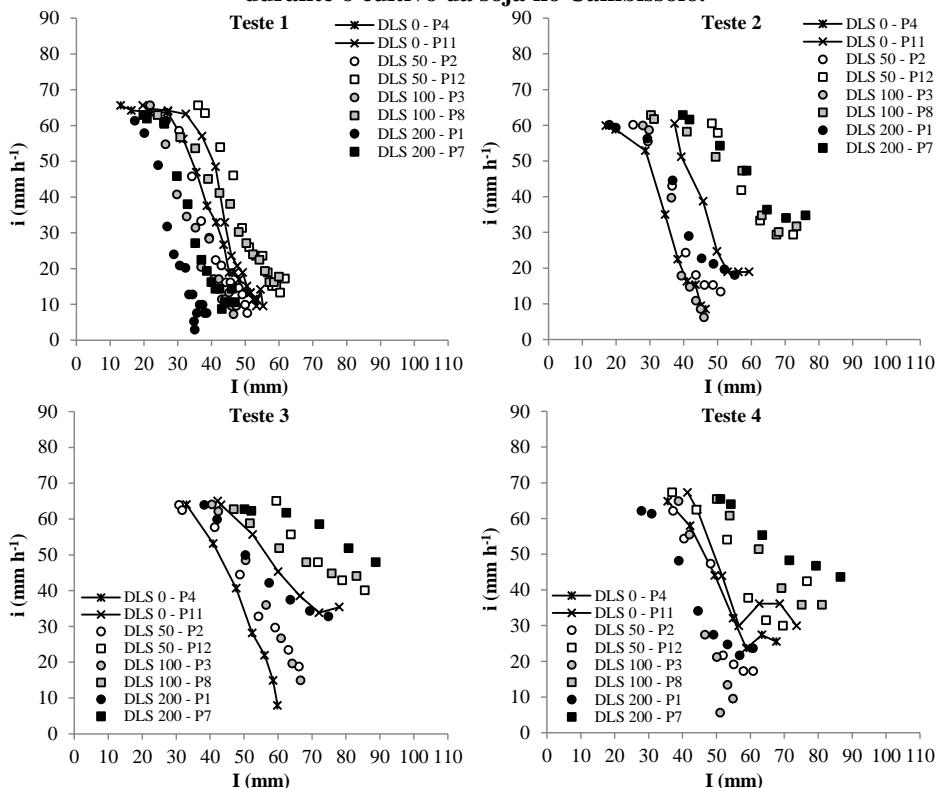
Nas Figuras 14 e 15 pode ser observada a relação entre taxa de infiltração e infiltração acumulada de água no solo em cada parcela durante cada teste de chuva realizado sobre o Nitossolo e Cambissolo, respectivamente.

Figura 14 – Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 15 – Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

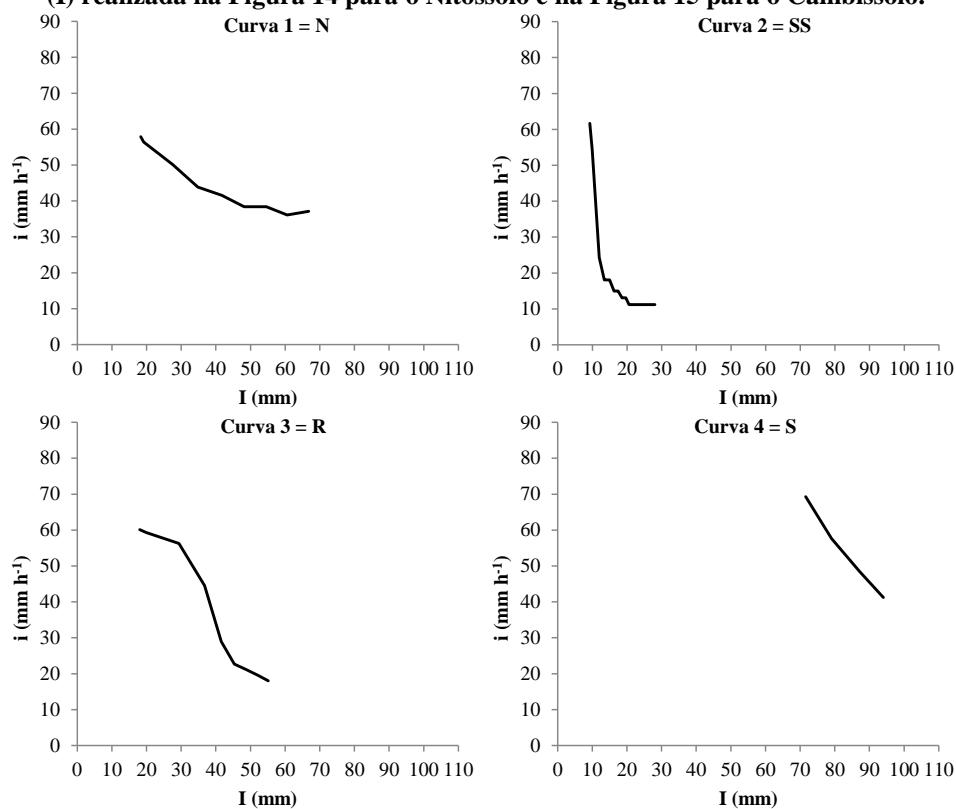
No Nitossolo (Figura 14), durante o teste T1, das seis parcelas que receberam alguma dose de DLS, apenas a curva de taxa de infiltração da parcela P8 (DLS 200) ficou abaixo das curvas das duas parcelas (P7 e P10) que não receberam DLS, à medida que a infiltração aumentava. No teste T2, apenas a curva da parcela P6 (DLS 50) tendeu a ficar entre as curvas das parcelas P7 e P10 (DLS 0), as demais curvas das parcelas P3 (DLS 50), P4 (DLS 100), P5 (DLS 100) e P8 (DLS 200) ficaram abaixo e a curva da parcela P9 (DLS 200) ficou acima das parcelas do tratamento DLS 0. Já nos testes T3 e T4 apenas a curva de taxa de infiltração da parcela P5 (DLS 100) se manteve abaixo das observadas para as parcelas P7 e P10 (DLS 0) com o aumento da infiltração.

Durante o primeiro teste de chuva (T1), no Cambissolo (Figura 15), a curva de taxa de infiltração da parcela P12 (DLS 50) permaneceu acima e da parcela P8 (DLS 100) tendeu a permanecer acima das curvas das parcelas P4 e P11 (DLS 0) com o aumento da infiltração. Nos testes T2, T3 e T4 as curvas das parcelas P12 (DLS 50), P8 (DLS 100) e P7 (DLS 200) ficaram acima das observadas para as parcelas P4 e P11 (DLS 0).

Apesar de não ser possível observar uma influência dos tratamentos sobre a taxa de infiltração dos dois solos, outras observações interessantes podem ser feitas. De forma geral, a relação entre taxa de infiltração e infiltração acumulada de água apresentada nas Figuras 14 e 15 permitiu o registro de quatro tendências de curva: 1 = normal (N), 2 = selamento superficial (SS), 3 = retardamento da queda da taxa de infiltração (R) e 4 = solo seco (S), conforme Figura 16. Na Tabela 7 é apresentado um resumo do tipo de curva que ocorreu em cada parcela e cada teste de chuva simulada, nos dois solos.

A curva 1 (Figura 16), demonstra um comportamento que é esperado (chamado de normal), ou seja que a taxa de infiltração decresça gradativamente com a saturação do solo até chegar à uma taxa mínima de infiltração. Essa tendência de comportamento foi observada em todas as parcelas durante os testes T2 e T4 de chuva simulada realizados sobre o Nitossolo (Figura 14), mas não nas parcelas P3, P4 e P5 durante o teste T2 (Tabela 7), onde, pelas curvas, infere-se que houve uma combinação entre o comportamento normal (N) e o efeito do selamento superficial (SS). Esperava-se uma curva de comportamento normal (N) nas parcelas também durante o teste T1, já que o teor médio de água no solo (29%) antecedente à aplicação da chuva foi o mesmo dos testes T2 (28%) e T4 (29%) (Tabela 8).

Figura 16 - Tipos de curvas observadas a partir da relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração total (I) realizada na Figura 14 para o Nitossolo e na Figura 15 para o Cambissolo.



N: normal; SS: selamento superficial; R: retardamento; S: solo seco.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Tabela 7 – Tipo de curva observada a partir da relação entre taxa de infiltração (i) e infiltração acumulada (I) em cada parcela e cada teste de chuva simulada, no Nitossolo e no Cambissolo.

Tratamento	Parcela	Nitossolo				Cambissolo					
		Tipos de Curva da Relação i x I				Tipos de Curva da Relação i x I					
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4		
DLS 0	P7	SS	N	S	N	DLS 0	P4	R	R	R - S	R - N
	P10	SS - N	N	S	N		P11	R	R	N - S	R - N
DLS 50	P3	SS	SS - N	S	N	DLS 50	P2	R	R	R - S	R - N
	P6	SS	N	S	N		P12	R	R	N - S	R - N
DLS 100	P4	SS	SS - N	S	N	DLS 100	P3	R	R	R - S	R - N
	P5	SS	SS - N	S	N		P8	R	R	N - S	N
DLS 200	P8	SS	N	S	N	DLS 200	P1	R	R	N - S	R - N
	P9	SS	N	S	N		P7	R	R	R - S	N

N: normal; SS: selamento superficial; R: retardamento da queda da taxa de infiltração; S: solo seco.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

No teste T1, as curvas de infiltração de água no solo de todas as parcelas do Nitossolo (Figura 14), exceto da P10, demonstram que houve uma queda rápida da taxa de infiltração, conforme exemplificado pela curva 2 (SS) da Figura 16. Isso aconteceu porque no primeiro teste (T1) de chuva simulada a cobertura do solo ainda era baixa, as plantas de soja eram pequenas e havia pouco resíduo cultural na superfície, consequentemente, o solo estava

susceptível ao impacto das gotas de chuva, desencadeando o fenômeno de selamento superficial. Durante um evento pluvial, o impacto da chuva na superfície do solo causa dispersão de argilas e desintegração de agregados, formando um selo superficial de baixa porosidade e continuidade de poros, restringindo a infiltração, aumentando o escoamento superficial (REICHERT; NORTON, 1995), reduzindo a troca gasosa entre solo e atmosfera e interferindo na germinação das sementes (PAGLIAI et al., 1983).

A formação do selo superficial ocorre principalmente em solo descoberto (BARCELOS et al., 1999) e é diminuída em solo com estrutura mais estável (REICHERT; NORTON, 1994) ou em sistemas conservacionistas que mantêm os resíduos culturais sobre o solo. A cobertura do solo por resíduos evita o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, prevenindo a destruição da rugosidade e a formação do selamento superficial (BARCELOS et al., 1999).

Tabela 8 - Teor de água no solo de cada tratamento (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) antecedente aos testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados no Nitossolo e no Cambissolo.

Tratamento	Parcela	Teor de Água no Solo (g g ⁻¹)											
		T1			T2			T3			T4		
		0-10 cm	10-20 cm	Média	0-10 cm	10-20 cm	Média	0-10 cm	10-20 cm	Média	0-10 cm	10-20 cm	Média
Nitossolo													
DLS 0	P7	0,27	0,30	0,28	0,27	0,27	0,27	0,20	0,21	0,21	0,31	0,29	0,30
	P10	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27	0,21	0,21	0,21	0,29	0,28	0,29
DLS 50	P3	0,28	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,20	0,23	0,22	0,27	0,28	0,28
	P6	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,18	0,22	0,20	0,29	0,29	0,29
DLS 100	P4	0,30	0,29	0,29	0,26	0,29	0,28	0,20	0,22	0,21	0,29	0,29	0,29
	P5	0,31	0,31	0,31	0,29	0,30	0,30	0,21	0,23	0,22	0,28	0,28	0,28
DLS 200	P8	0,30	0,29	0,30	0,28	0,28	0,28	0,20	0,22	0,21	0,29	0,28	0,28
	P9	0,27	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28	0,20	0,22	0,21	0,29	0,29	0,29
Média		0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,20	0,22	0,21	0,29	0,29	0,29
Cambissolo													
DLS 0	P4	0,28	0,30	0,29	0,26	0,27	0,27	0,17	0,21	0,19	0,25	0,25	0,25
	P11	0,23	0,32	0,28	0,30	0,31	0,31	0,21	0,26	0,24	0,29	0,28	0,28
DLS 50	P2	0,33	0,39	0,36	0,27	0,26	0,27	0,19	0,21	0,20	0,29	0,30	0,30
	P12	0,27	0,34	0,31	0,27	0,28	0,28	0,28	0,34	0,31	0,31	0,31	0,31
DLS 100	P3	0,36	0,33	0,35	0,26	0,30	0,28	0,17	0,19	0,18	0,27	0,27	0,27
	P8	0,30	0,33	0,32	0,29	0,29	0,29	0,20	0,24	0,22	0,28	0,27	0,28
DLS 200	P1	0,35	0,38	0,36	0,31	0,29	0,30	0,20	0,21	0,21	0,28	0,29	0,29
	P7	0,32	0,32	0,32	0,23	0,25	0,24	0,20	0,22	0,21	0,24	0,25	0,24
Média		0,31	0,34	0,32	0,27	0,28	0,28	0,20	0,23	0,22	0,28	0,28	0,28

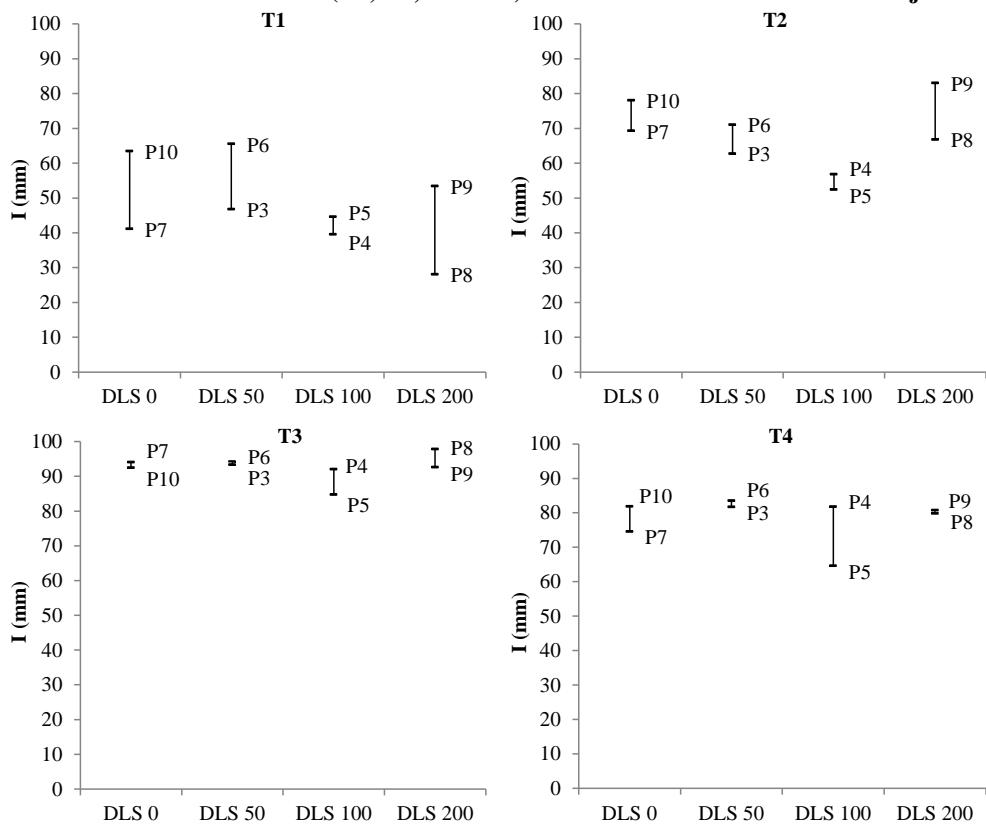
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Ainda, no solo das parcelas que receberam DLS, a MO presente e o caráter hidrofóbico do DLS, aplicado um dia antes da realização do primeiro teste (T1) de chuva, talvez tenham

atuado como selo superficial. Esse fenômeno foi observado por Oliveira e Parizotto (1994) e por Bertol et al. (2007a). Porém, sua efetiva influência não pode ser comprovada, primeiro, porque esse tipo de curva (curva 2 = SS, Figura 16) também ocorreu nas parcelas que não receberam DLS e, segundo, esse efeito não foi quantificado.

No Nitossolo, a infiltração de água no solo foi maior no teste T3, seguido pelos testes T4, T2 e T1, em todas as parcelas experimentais (Figura 17). O que explica isso é que no teste T3 o teor de água no solo, 21% (Tabela 8), antecedente à chuva simulada, era menor que nos demais testes, o escoamento superficial demorou a iniciar, portanto, mais água infiltrou. A curva típica resultante do teste T3, para todas as parcelas do Nitossolo, é a representada pela curva 4 (S) da Figura 16. Devido à condição de solo mais seco no teste T3, a taxa de infiltração de água no solo não alcançou um valor assintótico (valor final de equilíbrio), pois o tempo de avaliação não foi suficiente para isso. O solo mais seco durante o teste T3 foi causado pela menor precipitação natural dias antes da realização do mesmo (Anexo A).

Figura 17 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Em relação ao Cambissolo, pode ser observado, pelas curvas de infiltração (Figura 15), o fenômeno de retardamento da queda da taxa de infiltração e do início do escoamento

superficial, causado pela cobertura vegetal que interceptou o impacto das gotas da chuva e dissipou sua energia cinética. A curva 3 (R) da Figura 16 representa este comportamento, o qual foi observado em todos os testes de chuva, em várias parcelas. Nos testes T1 e T2 isso apareceu em todas as parcelas, já nos testes T3 e T4 os comportamentos das curvas se intercalaram; a intercalação foi entre solo seco (curva 4 da Figura 16), comportamento normal (curva 1 da Figura 16) e retardamento (curva 3 da Figura 16). Isto ocorreu porque o resíduo foi decompondo com o passar do tempo, diminuindo a eficácia na interceptação das gotas da chuva e, consequentemente, no retardamento da queda da taxa de infiltração e no início do escoamento.

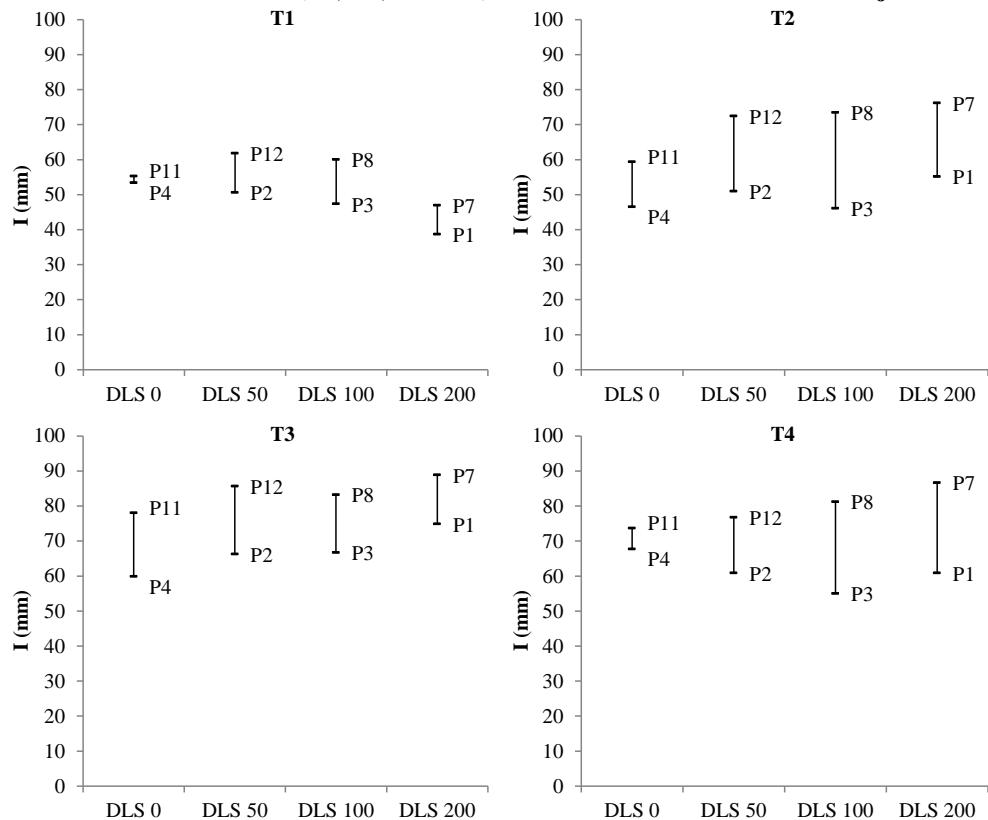
O retardamento da queda da taxa de infiltração e do início do escoamento superficial ocorreu, apenas, no Cambissolo porque havia maior quantidade de resíduo de aveia acumulado na superfície do solo do que no Nitossolo (observado visualmente, mas não determinado). No Nitossolo, devido a menor quantidade de resíduos de nabo, ocorreu o fenômeno de selamento superficial. Já no Cambissolo, o resíduo presente impediu a formação do selo superficial por interceptar o impacto das gotas da chuva e dissipar sua energia cinética, atuando como uma camada esponjosa que absorveu parte da água antes desta escoar. Resíduos culturais ou plantas vivas além de diminuírem o impacto das gotas de chuva, diminuem a velocidade e o volume do escoamento superficial, bem como, promovem a filtragem dos sedimentos grosseiros (FOSTER, 1982). Confirma-se, dessa maneira, a importância da manutenção da cobertura do solo com quantidades elevadas de resíduo vegetal para preservar as propriedades físicas e impedir a formação de selamento superficial, que é uma das principais causas da diminuição da infiltração de água no solo (PANACHUKI et al., 2011).

No Cambissolo, assim como observado no Nitossolo, o teste T3 apresentou a maior infiltração de água no solo, seguido pelos testes T4, T2 e T1 (Figura 18). O motivo também foi o mesmo observado no Nitossolo, menor teor médio de água no solo antecedente ao teste T3, 22% (Tabela 8). Nos demais, o teor médio de água no solo foi de 32% no teste T1 e 28% nos testes T2 e T4. O avanço da frente de umedecimento no perfil do solo, juntamente com o selamento superficial, são importantes fatores que interferem na infiltração de água no solo (MENEZES et al., 2013).

Ao se comparar os dois solos quanto à taxa de infiltração de água, em todas as parcelas esta tendeu a um valor final de equilíbrio melhor no Nitossolo do que no Cambissolo em todos os testes de chuva, com exceção do teste T3 (Figuras 14 e 15). Em relação, ao total infiltrado (Figuras 17 e 18), foi observada semelhança entre os testes do Cambissolo com os

realizados no Nitossolo, exceto no teste T3, onde a infiltração foi maior no Nitossolo, apesar do teor de água no solo antecedente a chuva ter sido praticamente igual entre os solos. Isso mostra que o Nitossolo propicia uma melhor condição para a infiltração de água.

Figura 18 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na infiltração total (I) de água no solo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Quanto ao DLS, não se notou nenhum efeito claro, nem de sua aplicação em si, nem da dose, sobre a infiltração de água no solo, tanto no Nitossolo como no Cambissolo. Isso porque a infiltração nos tratamentos que receberam dose de DLS não se diferenciou da ocorrida no tratamento que não recebeu DLS. Pode parecer que no primeiro teste (T1) algum efeito tenha ocorrido, em ambos os solos (Figura 17 e 18), onde se vê que nos tratamentos DLS 0 e DLS 50 o total infiltrado é ligeiramente superior à dos outros tratamentos, DLS 100 e DLS 200. Porém, essa pequena diferença se atribui ao maior teor de água no solo antecedente a chuva nos tratamentos que receberam as duas maiores doses de DLS (100 e 200 m³ ha⁻¹).

Para as doses maiores foi necessária a aplicação de um volume maior de DLS, encharcando o solo nessas parcelas, principalmente nas que receberam a dose de 200 m³ ha⁻¹. No trabalho, o teor de água existente no solo foi medido somente até os 20 cm de profundidade (Tabela 8) e até essa profundidade se percebe uma pequena diferença do teor de

água entre as parcelas do tratamento DLS 0 com as parcelas dos demais tratamentos, DLS 50, DLS 100 e DLS 200. Sendo que essa diferença foi perceptível apenas no primeiro teste de chuva (T1). Porém acredita-se que, em profundidade, abaixo dos 20 cm, a diferença no teor de água existente entre as parcelas possa ter sido maior, já que o DLS foi aplicado um dia antes do primeiro teste de chuva, aproximadamente 15 horas antes. É bem provável que nesse tempo a água contida no DLS tenha drenado apenas na camada superficial, mas não em profundidade.

Na literatura encontram-se trabalhos em que os autores observaram melhora da infiltração de água no solo com a aplicação de DLS (CASTRO FILHO et al., 2002; CASTRO FILHO et al., 2003; CERETTA et al., 2010; LEMOS, 2011), como também, trabalhos onde nenhum efeito foi observado (MECABÔ JÚNIOR et al., 2014) ou que a infiltração foi prejudicada devido à aplicação de DLS (BERTOL et al., 2007a; OLIVEIRA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2015; OLIVEIRA; PARIZOTTO, 1994; PELES, 2007).

6.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

6.4.1 Taxa de escoamento superficial

Em função da melhora crescente dos atributos físicos do solo, o escoamento superficial diminui de acordo com o aumento da dose de DLS. Na Tabela 9 é apresentado o tempo de início do escoamento superficial, em ambos os solos, e nas Figuras 19 e 20 pode ser observado o escoamento superficial acumulado ao longo do tempo em cada parcela durante cada teste de chuva realizado sobre o Nitossolo e Cambissolo, respectivamente. Nas Figuras 21 (Nitossolo) e 22 (Cambissolo) é apresentado o volume total escoado por parcela e por teste de chuva.

Em relação ao tempo de início do escoamento superficial no Nitossolo (Tabela 9), verifica-se que no teste T1, quanto maior a dose de DLS menor é o tempo de início do escoamento. Isso pode ser explicado pelo maior teor de água no solo antecedente à chuva nas parcelas que receberam DLS, assunto este já tratado na discussão referente à infiltração. Nos demais testes de chuva (T2, T3 e T4) não foram observadas tendências de comportamento.

No Cambissolo se observou que no primeiro teste de chuva (T1) o tempo de início do escoamento superficial (Tabela 9) foi menor nas parcelas do tratamento que não recebeu DLS ($0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) do que nas parcelas dos tratamentos que receberam DLS (50, 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Nos demais testes de chuva simulada os tempos de início do escoamento foram dispersos.

Conforme já referido, provavelmente o fenômeno de retardamento do escoamento causado pelo resíduo de aveia acumulado na superfície interferiu nesses resultados.

Tabela 9 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no tempo de início (Ti) do escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.

Nitossolo			Cambissolo						
Tratamento	Parcela	Ti (min)				Ti (min)			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
DLS 0	P7	12	26	62	17	DLS 0	P4	12	17
	P10	23	47	79	32		P11	18	37
DLS 50	P3	11	23	64	22	DLS 50	P2	26	25
	P6	16	18	72	26		P12	33	48
DLS 100	P4	10	18	64	23	DLS 100	P3	20	28
	P5	14	18	45	18		P8	23	29
DLS 200	P8	9	19	57	17	DLS 200	P1	17	18
	P9	8	42	72	13		P7	19	38

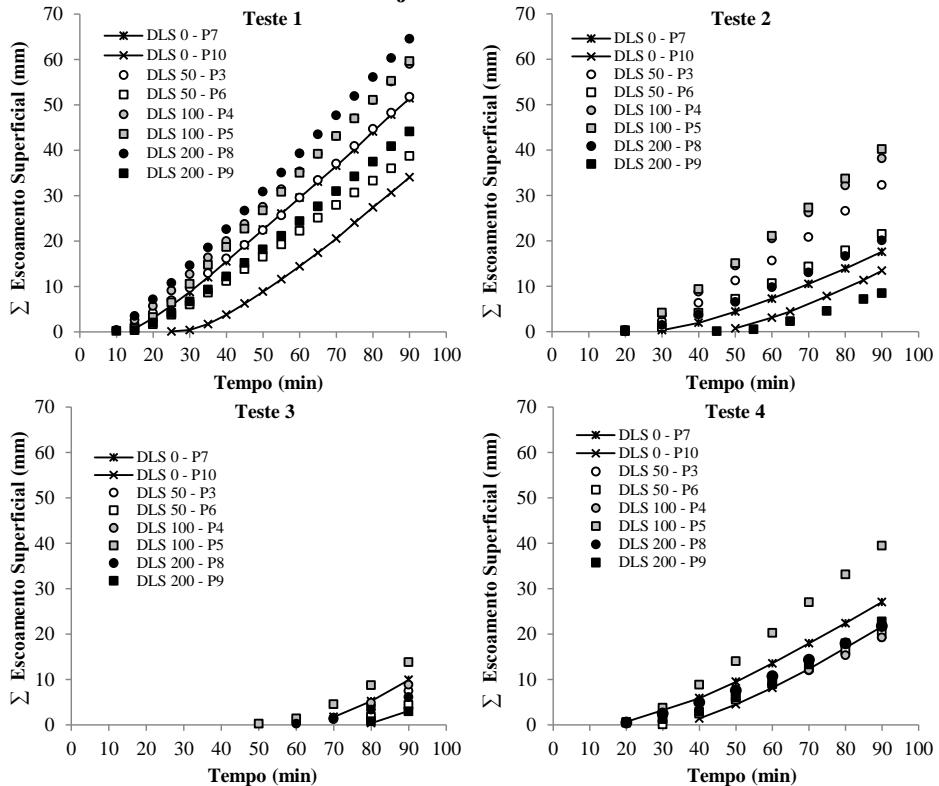
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Assim sendo, para os dois solos, os dados mostram não ter havido um efeito propriamente dito do DLS sobre o tempo de início do escoamento superficial. Uma aplicação de 200 m³ ha⁻¹ de DLS antecipou o tempo de início do escoamento superficial em relação à dose de 100 m³ ha⁻¹ (MECABÔ JÚNIOR et al., 2014). Já, o aumento da dose de cama de aviário retardou o tempo de início do escoamento superficial (GIDDENS; BARNET, 1980).

Sobre o escoamento superficial, no Nitossolo (Figura 19 e 21), durante o teste T1, das seis parcelas que receberam alguma dose de DLS, três parcelas (P8: DLS 200, P4: DLS 100 e P5: DLS 100) apresentam valores de escoamento maiores do que as duas parcelas (P7 e P10) que não receberam DLS. No teste T2, apenas os valores de escoamento da parcela P9 (DLS 200) apresentaram valores abaixo das parcelas P7 e P10 (DLS 0), as demais parcelas apresentaram valores acima. Já nos testes T3 e T4 apenas os valores do escoamento superficial da parcela P5 (DLS 100) se mantiveram acima dos observados nas parcelas P7 e P10 (DLS 0).

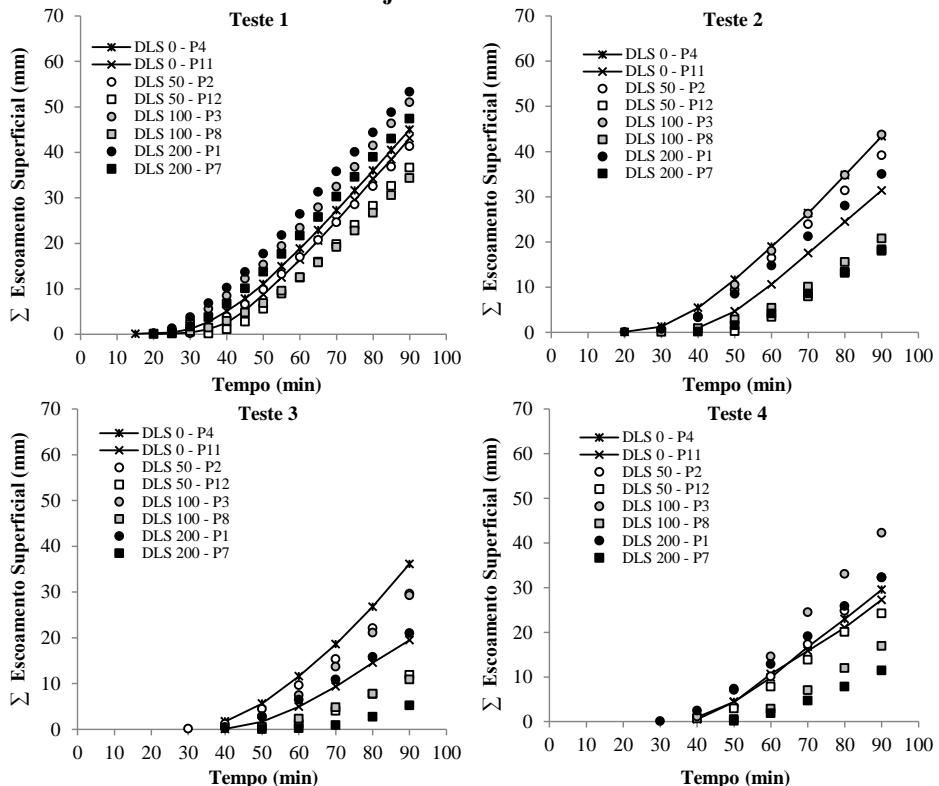
Durante o primeiro teste de chuva (T1), no Cambissolo (Figuras 20 e 22), os valores de escoamento superficial das parcelas P1 (DLS 200), P7 (DLS 200) e P3 (DLS 100) permaneceram com valores acima dos encontrados nas parcelas P4 e P11, ambas do tratamento DLS 0. Nos testes T2 e T3, nenhuma das parcelas que receberam DLS apresentou valores superiores aos verificados nas parcelas P4 e P11 (DLS 0). No último teste (T4), os valores de escoamento superficial das parcelas P1 (DLS 200), P2 (DLS 50) e P3 (DLS 100) voltaram a apresentar valores acima dos observados nas parcelas P4 e P11 (DLS 0).

Figura 19 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento superficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 20 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento superficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



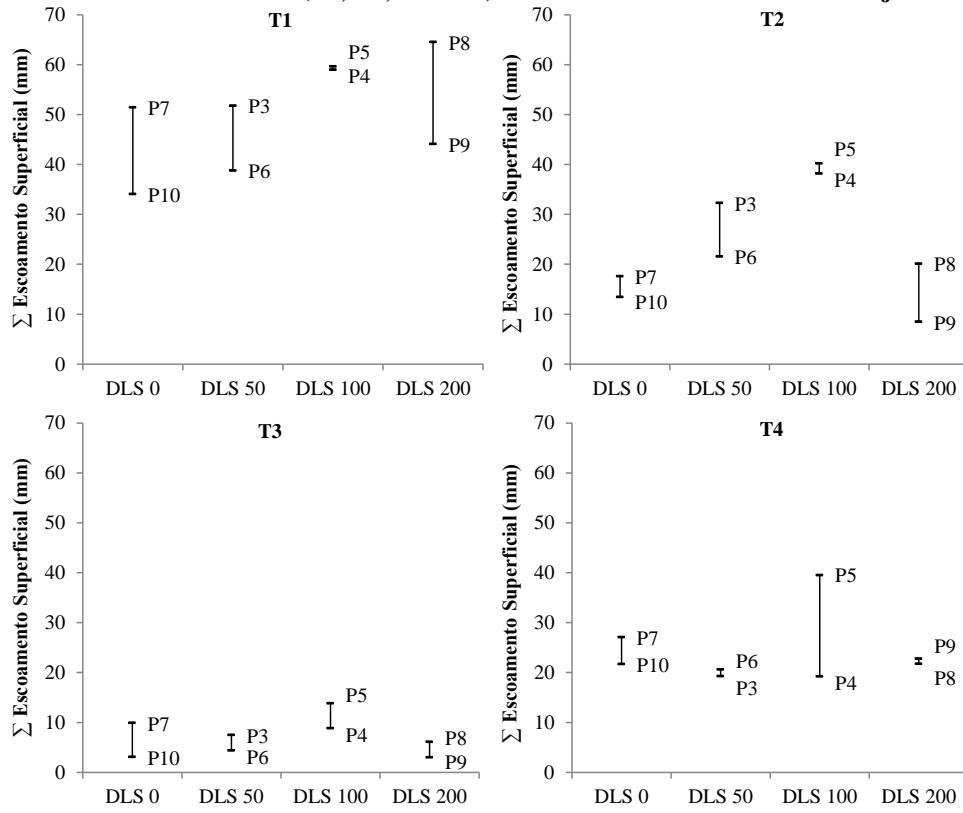
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Em ambos os solos, Nitossolo e Cambissolo, o escoamento superficial total diminuiu do teste T1 até o T3 em todas as parcelas. O que é justificado pelo crescimento do sistema radicular da cultura que criou caminhos propícios para o aumento da infiltração de água no solo (Figuras 17 e 18). No teste T4 o escoamento superficial aumentou em relação ao verificado no teste T3, independente do solo e das parcelas, atingindo, em geral, valores semelhantes aos observados no teste T2 (Figuras 21 e 22). Isso ocorreu devido ao baixo teor de água nos solos antecedente à realização do terceiro teste de chuva (T3). O baixo teor de água existente nos solos no teste T3 influenciou menos o escoamento superficial total do Cambissolo do que o do Nitossolo, pois se percebe claramente que nesse teste o escoamento superficial total foi maior no Cambissolo. Já nos demais testes, T1, T2 e T4, os escoamentos totais entre os solos foram muito semelhantes (Figuras 21 e 22).

Pelo fato do escoamento superficial apresentar uma tendência de ser maior nas parcelas que receberam as duas maiores doses de DLS (100 e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$), faz parecer que no primeiro teste de chuva (T1), tanto no Nitossolo como no Cambissolo, algum efeito do DLS tenha ocorrido (Figuras 21 e 22). Porém, esse resultado pode ser justificado pelo maior teor de água existente no solo das parcelas que receberam maiores doses de DLS, já explicado no tópico sobre infiltração de água no solo. Além disso, pode parecer, também, que o selamento superficial resultante do impacto das gotas de chuva tenha influenciado. Contudo, o selamento superficial provavelmente ocorreu em todas as parcelas. Por outro lado, nos tratamentos que receberam DLS, talvez a matéria orgânica presente e o caráter hidrofóbico do dejeto tenham atuado como selo superficial, mas, essa possível influência do DLS não foi quantificada.

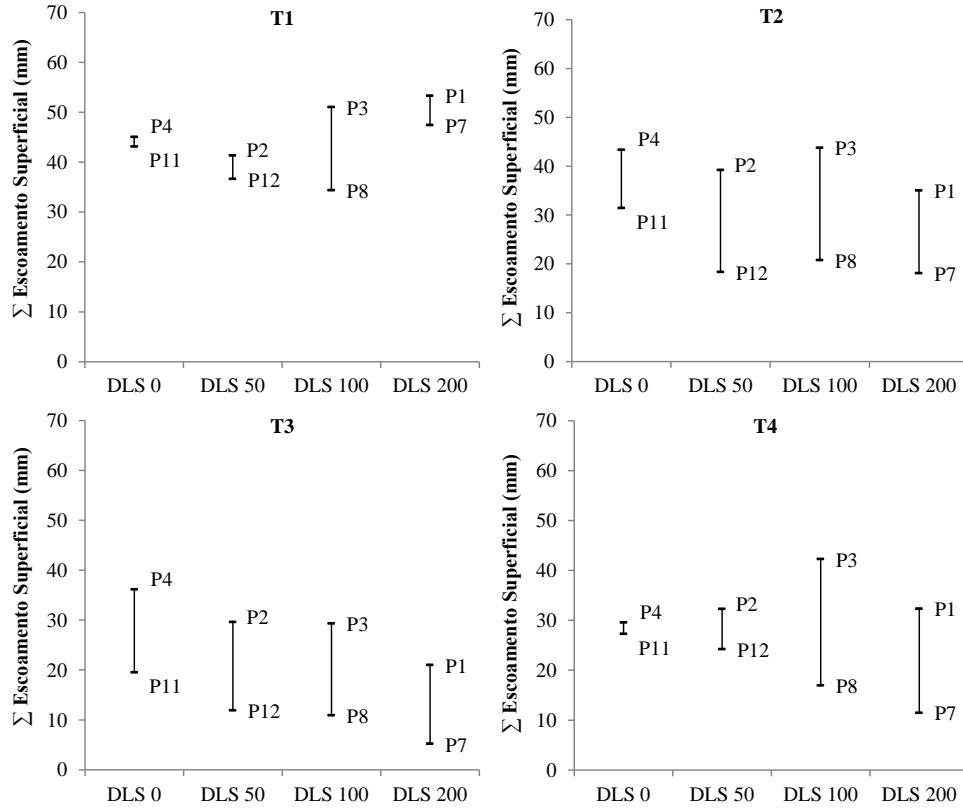
Enfim, não é possível afirmar que houve influência das diferentes doses de DLS aplicado no solo sobre o comportamento do escoamento superficial, pois, não ficou clara sua diminuição de acordo com o aumento da dose de DLS, corroborando com o trabalho de Mocabô Júnior et al. (2014). Segundo esse autor, o escoamento superficial é mais influenciado pelo tipo de solo e seus atributos físicos e pela cobertura superficial, do que pela dose de DLS aplicado ao solo. Com a aplicação de 0 , 30 , 60 e $90\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de dejeto bovino foi evidenciado maior incremento no escoamento superficial nas doses de 0 e $30\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ (MORI et al., 2009). Conforme os autores, a causa desse aumento substancial foi, possivelmente, o efeito de selamento superficial promovido pelo próprio dejeto. Outras pesquisas também evidenciaram o aumento do escoamento superficial com a aplicação de DLS (BERTOL et al., 2007a; OLIVEIRA et al., 2015; PELES, 2007). Por outro lado, Castro Filho et al. (2002), Castro Filho et al. (2003), Ceretta et al. (2010) e Lemos (2011) observaram que o aumento das doses de DLS contribuiu para a redução do escoamento superficial.

Figura 21 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento superficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

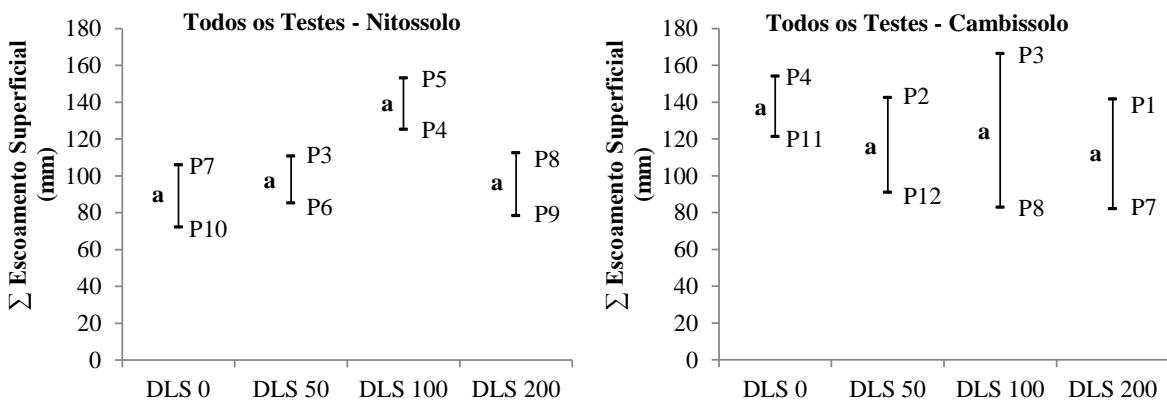
Figura 22 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento superficial total (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Analisando os gráficos da Figura 23 que mostram, por parcela, o escoamento superficial total dos quatro testes de chuva, verifica-se que o escoamento superficial total não diferiu estatisticamente entre os tratamentos do Nitossolo e do Cambissolo. Além disso, o escoamento do Cambissolo foi ligeiramente superior ao do Nitossolo. No Nitossolo, entre 18% e 38% do total de chuva aplicada nos quatro testes resultou em escoamento superficial. No Cambissolo esses valores variaram entre 22% e 44%, entre as parcelas dos tratamentos estudados.

Figura 23 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento superficial total (Σ) de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.



Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Apesar disso, o escoamento superficial observado, tanto no Cambissolo como no Nitossolo pode ser considerado baixo, concordando com Bertol et al., (2007a) onde, na situação de maior escoamento (tratamento que recebeu DLS), o volume total de chuva que gerou escoamento superficial chegou a 32%. Valor próximo, 31% de escoamento do total de chuva aplicada, também em situação mais crítica, foi verificado na maior dose de dejeto bovino, $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (MORI et al., 2009). Sabendo que nesses trabalhos, assim como na presente pesquisa, foi adotado o sistema de semeadura direta, o baixo escoamento superficial pode ser explicado. Pois se comparar com uma situação completamente oposta, de solo totalmente descoberto, o escoamento superficial chega a cerca de 70% da chuva precipitada (SANTOS et al., 2011). De acordo com os mesmos autores o solo descoberto não oferece impedimento ao livre escoamento, o que tende a provocar aumento na velocidade de escoamento superficial, reduzindo sua infiltração.

Mesmo baixo esse escoamento superficial pode ter significado ambiental desastroso, quando relacionada à área de uma bacia hidrográfica, uma vez que o escoamento superficial é

o principal veículo de transporte de nutrientes e de sedimentos para os mananciais de água, constituindo-se, assim, no principal fator de poluição difusa (BERTOL et al., 2007a).

6.4.2 Sedimentos no escoamento superficial

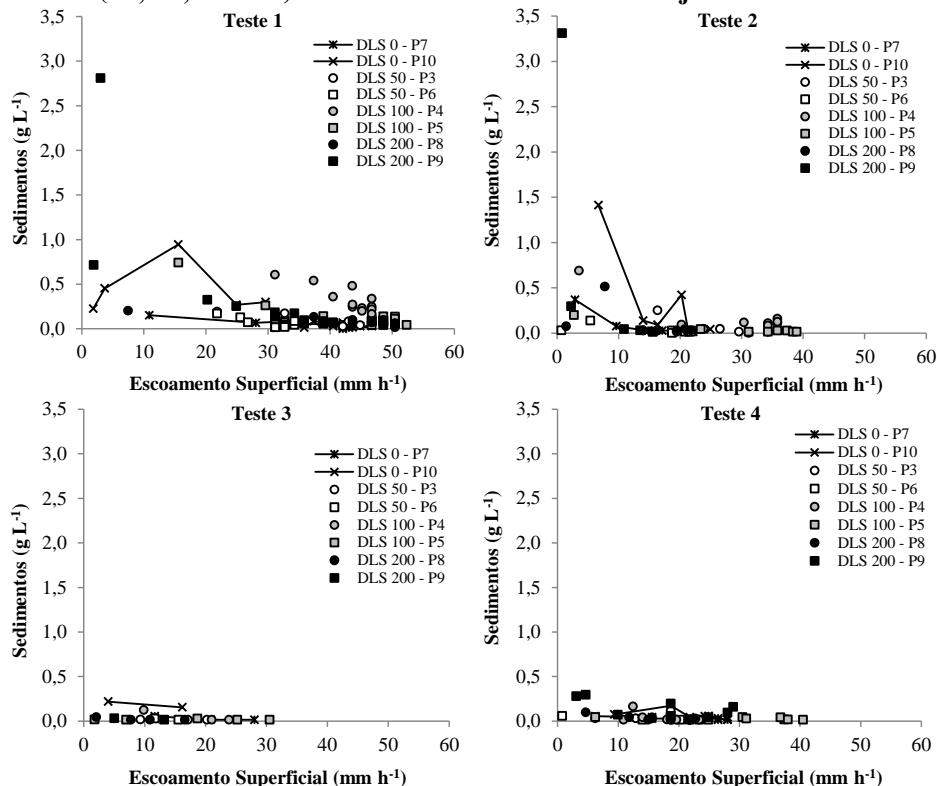
A quantidade de sedimentos transportados diminui conforme o aumento da dose de DLS, devido à melhoria dos atributos físicos do solo. Para avaliar essa hipótese, durante cada teste de chuva simulada, no momento em que foi medida a vazão do escoamento (a cada 10 minutos), também foi coletada uma amostra para determinar a quantidade de sedimentos.

Inicialmente apresenta-se nas Figuras 24 (Nitossolo) e 25 (Cambissolo) a relação entre concentração de sedimentos instantânea no escoamento superficial e a taxa de escoamento superficial instantânea, por parcela e por teste de chuva. Tais figuras mostram que, em todas as parcelas, a concentração de sedimentos instantânea é maior no início do escoamento superficial (quando a taxa de escoamento era menor) e, na medida em que a taxa de escoamento instantânea se intensificou a concentração instantânea diminuiu. Isso acontece porque no início do escoamento existia maior quantidade de sedimentos soltos, desagregados em chuvas anteriores e, portanto, disponíveis para serem transportados com facilidade. Além disso, como foi adotado o sistema de semeadura direta, a cobertura do solo deve ter protegido o solo da desagregação quando aumentou a taxa de escoamento.

Nas Figuras 26 e 27 pode ser observada a relação entre massa de sedimentos acumulados e escoamento superficial acumulado em cada parcela durante cada teste de chuva realizado sobre o Nitossolo e Cambissolo. Nas Figuras 28 e 29 é apresentada a concentração média e a massa total de sedimentos por parcela e teste de chuva. Já a concentração média e a massa total de sedimentos, juntando os quatro testes de chuva, por parcela, é apresentada na Figura 30.

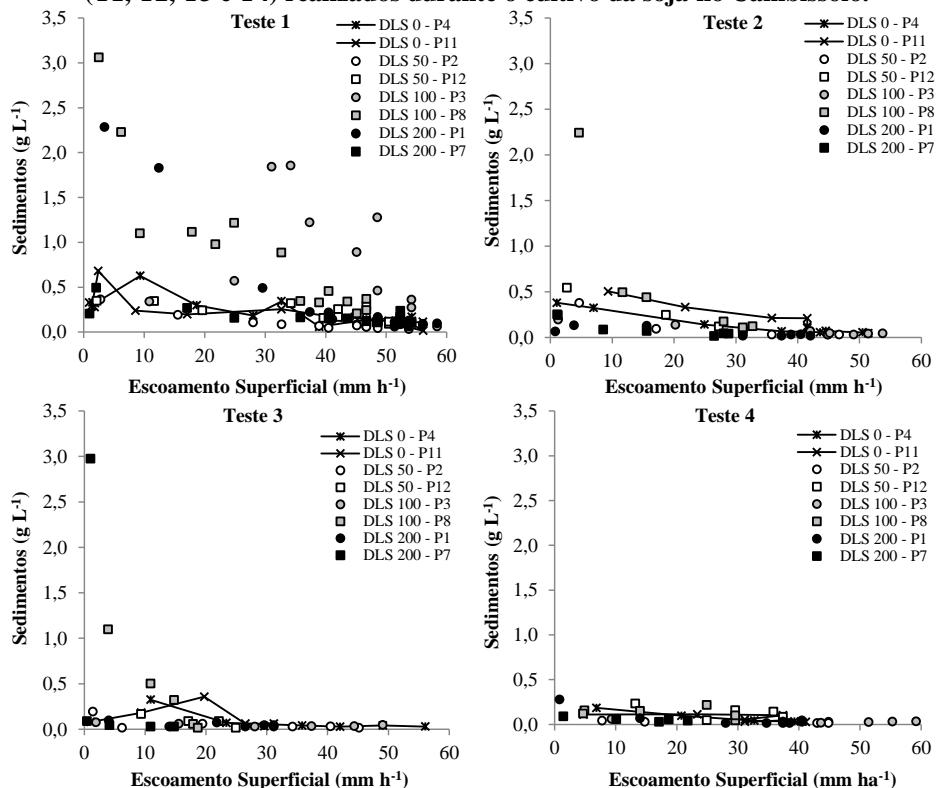
Como o volume total de água escoada não foi o mesmo nas diferentes parcelas foi feita uma padronização para uma melhor comparação da concentração média e massa total de sedimentos entre as parcelas. Para essa padronização foi realizado um corte nas curvas das Figuras 26 e 27. Esse corte foi feito com base na curva referente à parcela que apresentava o menor volume total de escoamento, ou seja, as curvas das parcelas de maior escoamento foram cortadas para se igualarem com a curva da parcela de menor escoamento. Assim, os valores usados como concentração média e massa total de sedimentos, nos gráficos das Figuras 28, 29 e 30, foram padronizados para o mesmo valor de escoamento superficial total em todas as parcelas.

Figura 24 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre concentração de sedimentos instantânea e taxa de escoamento superficial instantânea em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



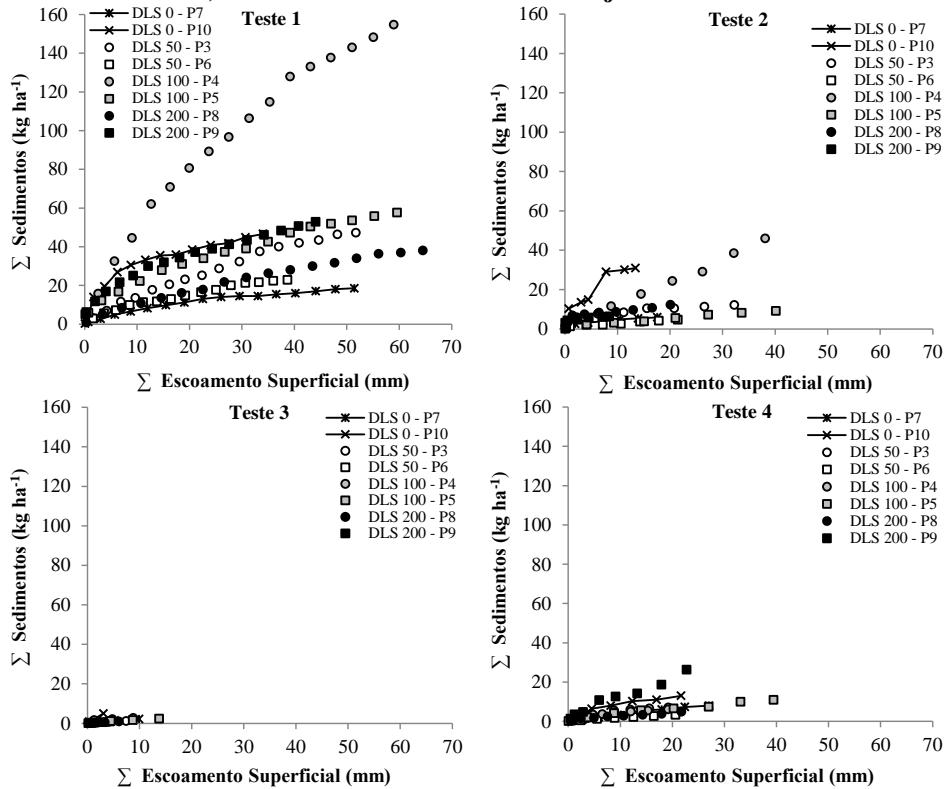
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 25 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre concentração de sedimentos instantânea e taxa de escoamento superficial instantânea em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



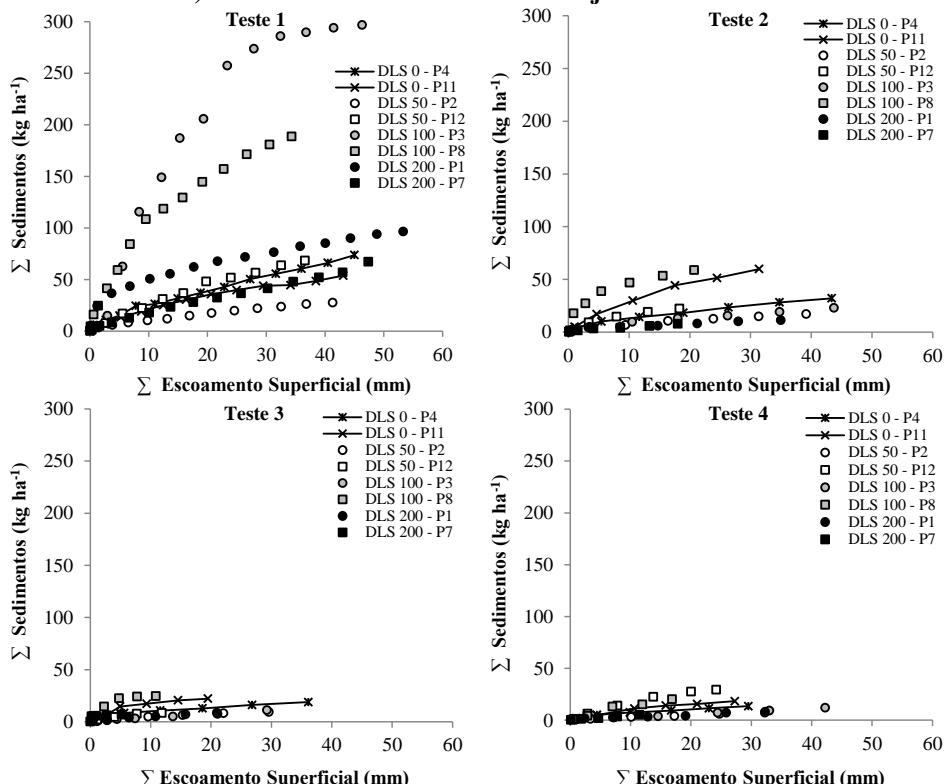
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 26 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa de sedimentos acumulados (Σ) e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 27 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa de sedimentos acumulados (Σ) e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Nos gráficos de relação entre massa de sedimentos acumulados e escoamento superficial acumulado (Figuras 26 e 27) observa-se que o transporte da massa de sedimentos aumentou de acordo com o aumento do escoamento, em todos os testes e parcelas de ambos os solos. Porém, esse aumento foi maior no início do escoamento, tendendo a estabilização posteriormente. Isto é explicado pela maior concentração de sedimentos no início do escoamento (Figuras 24 e 25).

Comparando os gráficos de concentração média de sedimentos com os gráficos de massa total de sedimentos das Figuras 28 (Nitossolo) e 29 (Cambissolo), observa-se que a massa total de sedimentos transportados foi mais influenciada pela concentração de sedimentos no escoamento do que a altura da lâmina do escoamento superficial (Figuras 21 e 22). Isso porque, em praticamente todas as parcelas e em todos os testes de chuva, a massa de sedimentos foi maior na mesma parcela em que foi maior a concentração de sedimentos e não onde foi maior a altura da lâmina do escoamento. Diferente desta situação, Bertol et al. (2004), avaliando a erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo observaram que o transporte de sedimentos seguiu a mesma tendência da altura da lâmina de escoamento. O mesmo foi observado por Bertol et al. (2007a) ao avaliarem o transporte de sedimentos e escoamento superficial em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica, sendo esta com DLS.

A maior concentração média de sedimentos e a maior massa total de sedimentos ocorreram no primeiro teste de chuva (T1), em todas as parcelas do Nitossolo (Figura 28) e do Cambissolo (Figura 29), com tendência de diminuição nos testes (T2, T3 e T4) realizados em sequência. Isso se justifica porque no teste T1 a condição no início da pesquisa era de solo recém-preparado e recém-semeado, ao passo que entre o teste T3 e T4 o solo estava já consolidado e com a cultura em pleno desenvolvimento. O crescimento da cultura ao longo do ciclo aumentou a proteção do solo. Assim, a quantidade de sedimentos prontamente disponível ao transporte pelo escoamento era maior no teste T1 (LUCIANO et al., 2009).

Apesar de ter ocorrido a maior concentração e massa de sedimentos no teste T1, nos dois solos, esses valores no T1, bem como nos demais testes (T2, T3 e T4), foram muito baixas. Essa afirmação é sustentada pelo fato da concentração média de sedimentos no escoamento superficial, em todas as situações estudadas, terem se situado em valores muito abaixo do limite de 500 mg L^{-1} estipulado pela resolução 357 do CONAMA (CONAMA, 2005). As exceções foram os dados das parcelas do tratamento DLS 100 do teste T1 realizado no Cambissolo (Figuras 28 e 29). Porém, ao verificar a concentração média de sedimentos dos quatro testes de chuva, na Figura 30, essa exceção pode ser desconsiderada. Em um Latossolo

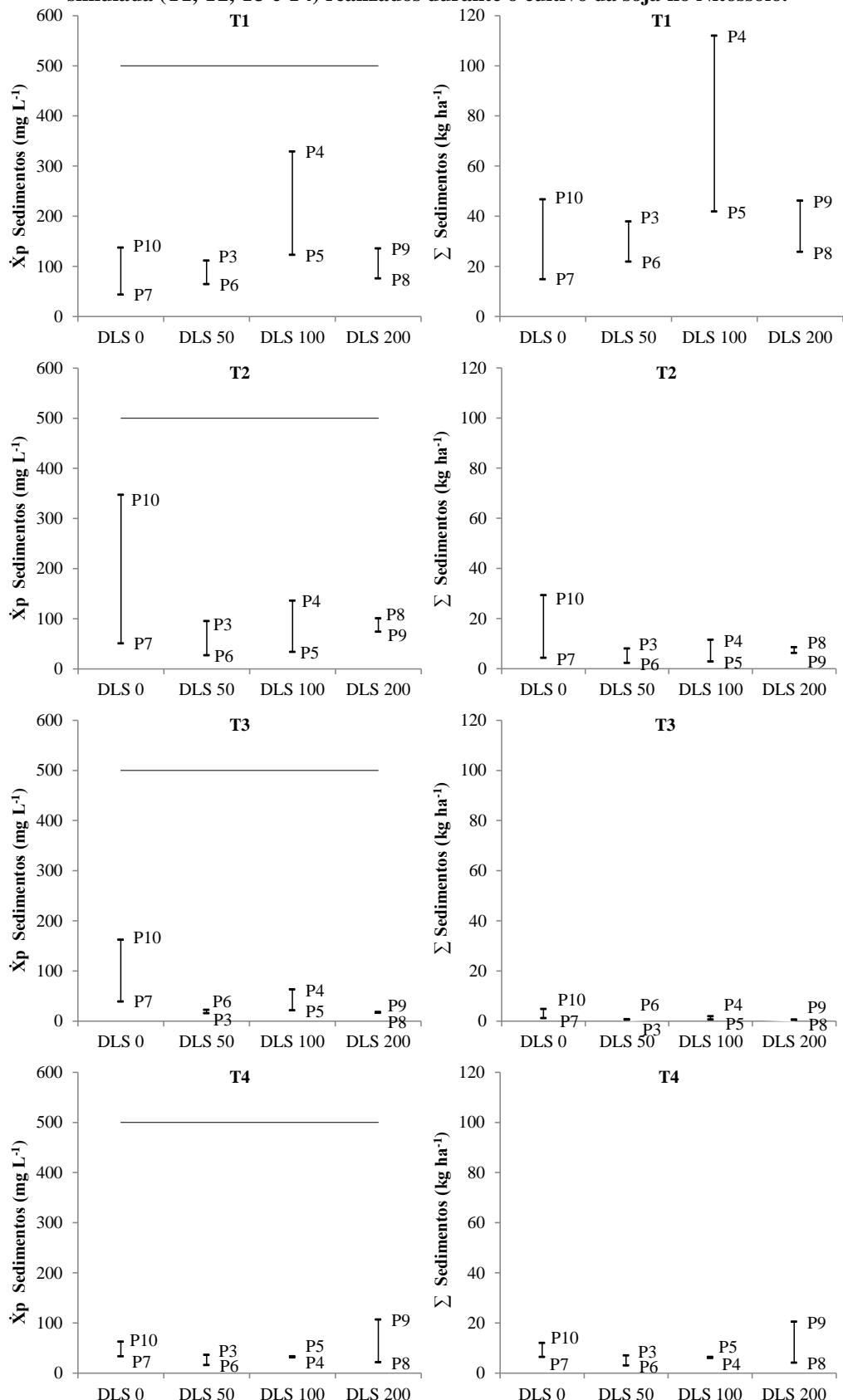
Vermelho distroférrico cultivado no sistema de semeadura direta e submetido a adubações orgânicas com DLS, cama de aviário e adubação mineral, as concentrações de sedimentos no escoamento superficial em 2010 não excederam o limite máximo de 500 mg L^{-1} permitido pelo legislação. Já em 2012, as concentrações de sedimentos no escoamento excederam o limite nos tratamentos com DLS (100 e 200) e no controle (OLIVEIRA et al., 2015).

O baixo transporte de sedimentos é justificado pela adoção da semeadura direta, técnica caracterizada por manter o solo coberto com resíduos vegetais e sem preparo mecânico. Resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo são muito eficazes na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial, pois, sob tal condição, eles formam uma intrincada rede, filtrando os sedimentos em suspensão no escoamento quando este passa por entre suas peças (FOSTER, 1982). Além disso, a semeadura direta apresenta maior eficácia no controle do transporte de sedimentos do que no controle do escoamento superficial (COGO et al., 2003), devido à ausência de preparo mecânico que desagregaria o solo e o disponibilizaria para o transporte. A menor eficácia da semeadura direta no controle do escoamento superficial, comparada ao transporte de sedimentos, deve-se ao fato de que, independentemente do tipo de preparo utilizado, o solo apresenta capacidade finita de infiltração de água, a partir da qual a taxa de escoamento tende a se igualar nos diferentes tipos de preparo (BERTOL et al., 2007a).

No teste T1, as parcelas P4 do Nitossolo e P3 e P8 do Cambissolo, que receberam $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLS, se destacaram das demais parcelas quanto à concentração média e massa total de sedimentos (Figuras 28 e 29), o que talvez possa caracterizar um efeito do DLS. Todavia, se esperava comportamento semelhante nas parcelas que receberam menor dose de DLS (0 e $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), mas isso não foi percebido.

Diante disso, não é possível afirmar que houve influência das diferentes doses de DLS sobre o comportamento do transporte de sedimentos pelo escoamento superficial, em ambos os solos. Isso porque a maioria das parcelas que receberam alguma dose de DLS (50, 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) apresentou transporte de sedimentos semelhante às parcelas que não receberam aplicação de DLS ($0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Ou seja, não ficou clara a diminuição do transporte de sedimentos de acordo com o aumento da dose de DLS. Diferentes doses de DLS (0, 50, 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) aplicadas sobre o mesmo Nitossolo avaliado no presente trabalho, também, não influenciaram o transporte de sedimentos (MECABÔ JÚNIOR et al., 2014). Por outro lado, em um Latossolo Vermelho amarelo o maior incremento de sedimentos transportados ocorreu com a aplicação das doses de 0 e $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejeto bovino, estabilizando nas maiores doses (60 e $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (MORI et al., 2009).

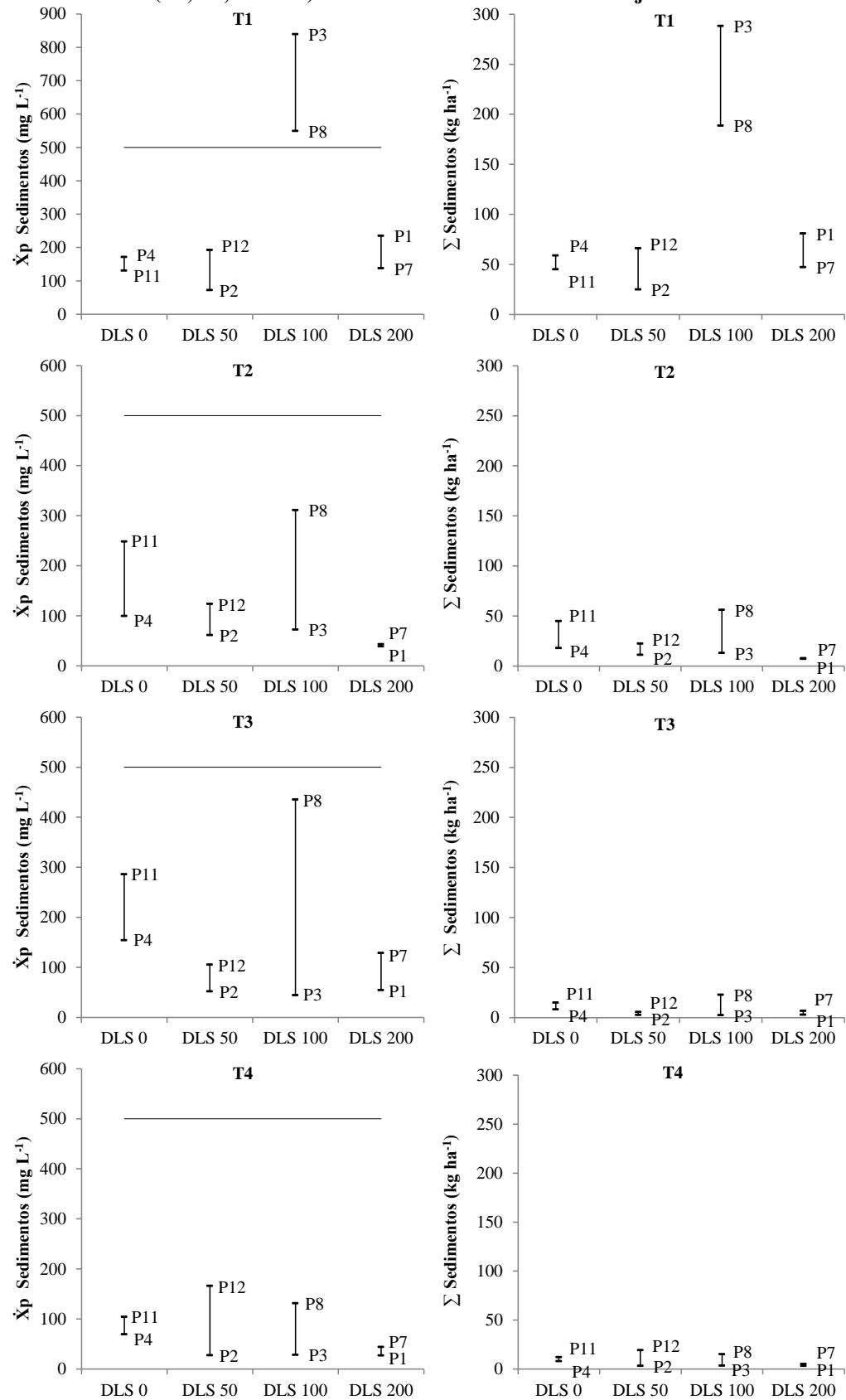
Figura 28 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de sedimentos no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 500 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 29 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de sedimentos no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.

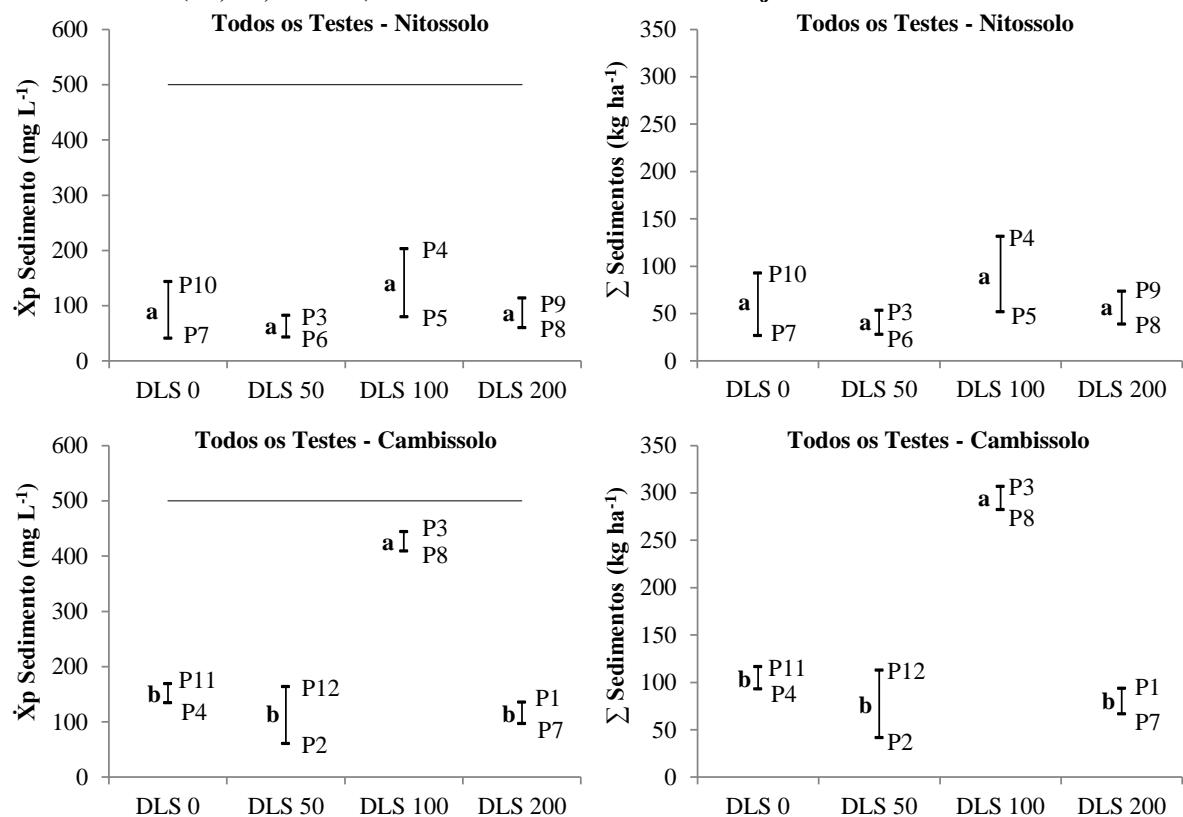


A linha refere-se ao limite máximo de 500 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Por fim, analisando os gráficos da Figura 30, percebe-se que a concentração média e a massa total de sedimentos no escoamento superficial, considerando todos os testes de chuva, não diferiram estatisticamente entre os tratamentos do Nitossolo. No Cambissolo, a concentração média e a massa total de sedimentos no escoamento foram significativamente superiores no tratamento DLS 100, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Além disso, a concentração média e a massa total de sedimentos no escoamento superficial foram maiores no Cambissolo do que no Nitossolo, considerando os quatro testes de chuva. Isto se explica pela erodibilidade ser maior e pelo fato do escoamento superficial ter sido levemente maior no Cambissolo. A erodibilidade do Cambissolo é de 0,0172 ou 0,0175 Mg ha h $\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (SCHICK et al., 2014), enquanto que a erodibilidade do Nitossolo é de 0,011 ou 0,012 Mg ha h $\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (BERTOL et al., 2007b).

Figura 30 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (\sum) padronizada de sedimentos no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 500 mg L^{-1} estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.
Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

6.4.3 Nutrientes no escoamento superficial

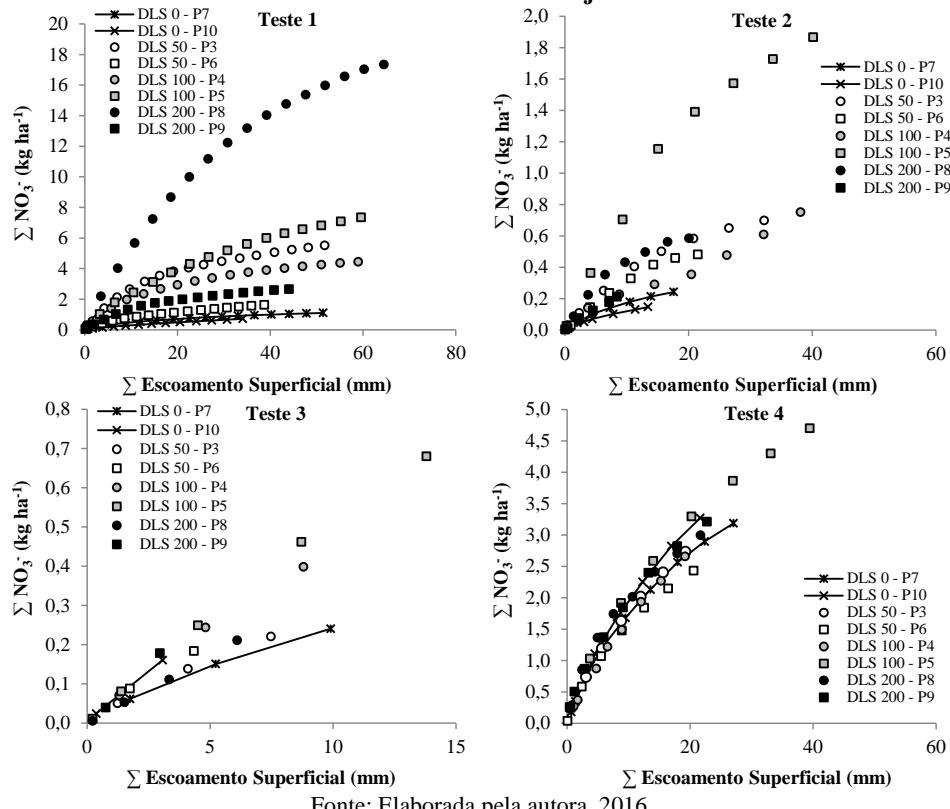
Com o aumento da dose de DLS espera-se um aumento da quantidade de nutrientes no escoamento superficial, devido ao aporte destes via dejeto ao solo. Com a intenção de validar essa hipótese foi determinado NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ nas amostras do escoamento superficial coletadas em intervalos de 10 minutos durante cada teste de chuva simulada.

Nas Figuras 31 até 35 para o Nitossolo e Figuras 36 até 40 para o Cambissolo, podem ser observados os gráficos que relacionam a massa acumulada de cada nutriente com o escoamento superficial acumulado durante cada teste de chuva simulada e para cada parcela experimental. Nas Figuras 41 até 45, referente ao Nitossolo e nas Figuras 46 até 50, referente ao Cambissolo, é exposta a concentração média e a massa total de cada espécie química, por teste de chuva e por parcela. A concentração média e a massa total de cada nutriente, juntando os quatro testes de chuva, por parcela, é apresentada nas Figuras 51 e 52, Nitossolo e Cambissolo, respectivamente.

O volume de escoamento total não foi o mesmo nas diversas parcelas nos dois experimentos, por isso, foi feita uma padronização dos dados para facilitar a comparação, entre as parcelas, da concentração média e massa total de cada nutriente. Para a padronização foi realizado um corte nas curvas das Figuras 31 até 35 (Nitossolo) e 36 até 40 (Cambissolo). Esse corte foi realizado com base na curva que apresentava o menor volume de escoamento, ou seja, as curvas de escoamento com maior volume foram cortadas para se igualarem com a curva de menor escoamento. Assim, os valores usados como concentração média e massa total para cada nutriente no escoamento, nas Figuras 41 até 45 e Figura 51, referente ao Nitossolo, e nas Figuras 46 até 50 e Figura 52, referente ao Cambissolo, foram padronizados para o mesmo valor de escoamento superficial total em todas as parcelas.

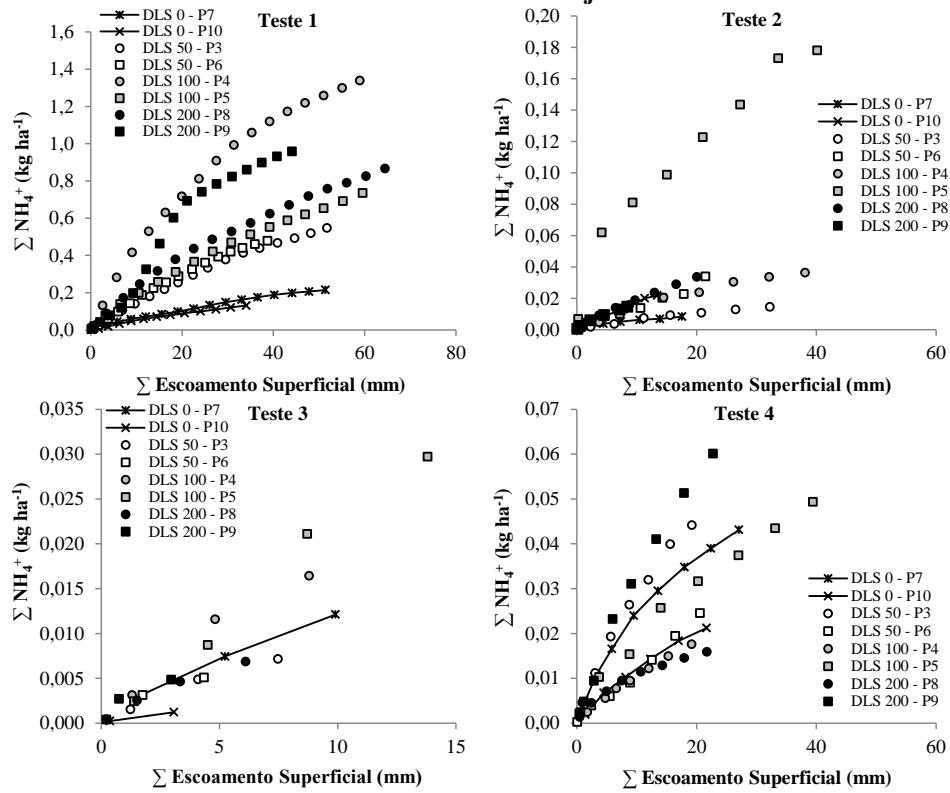
As Figuras 31 até 35 (Nitossolo) e as Figuras 36 até 40 (Cambissolo) mostram que a massa de todos os nutrientes aumentou com o aumento do escoamento superficial em todas as parcelas e testes de chuva simulada. Contudo, esse aumento foi maior no início do escoamento devido à maior concentração dos nutrientes no início do escoamento.

Figura 31 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₃⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



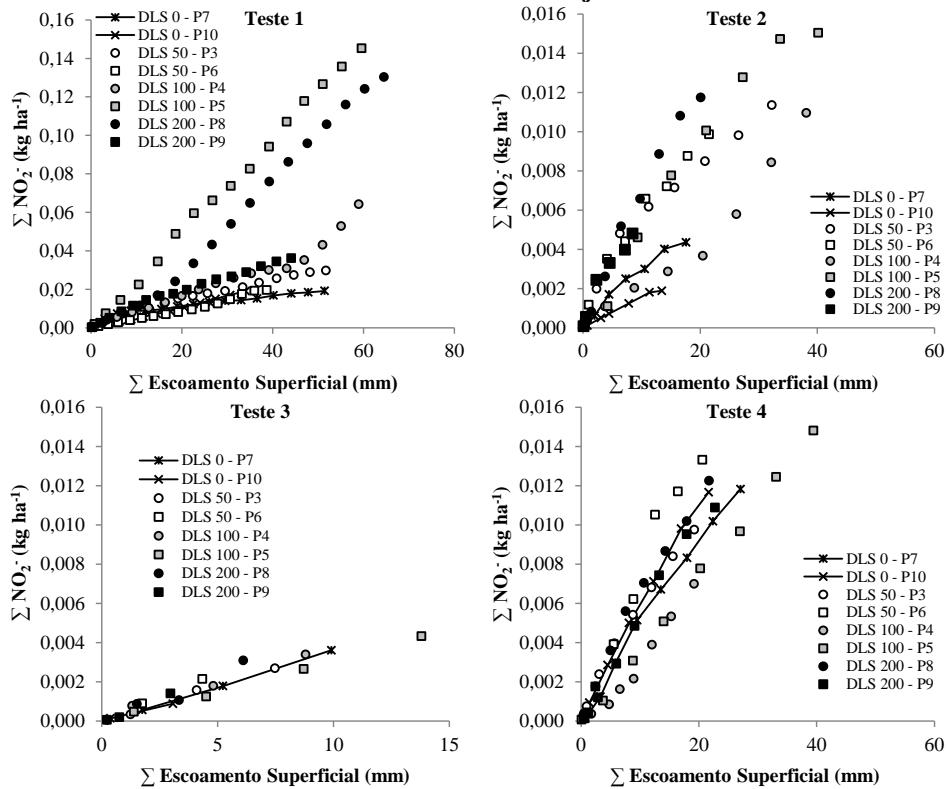
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 32 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH₄⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



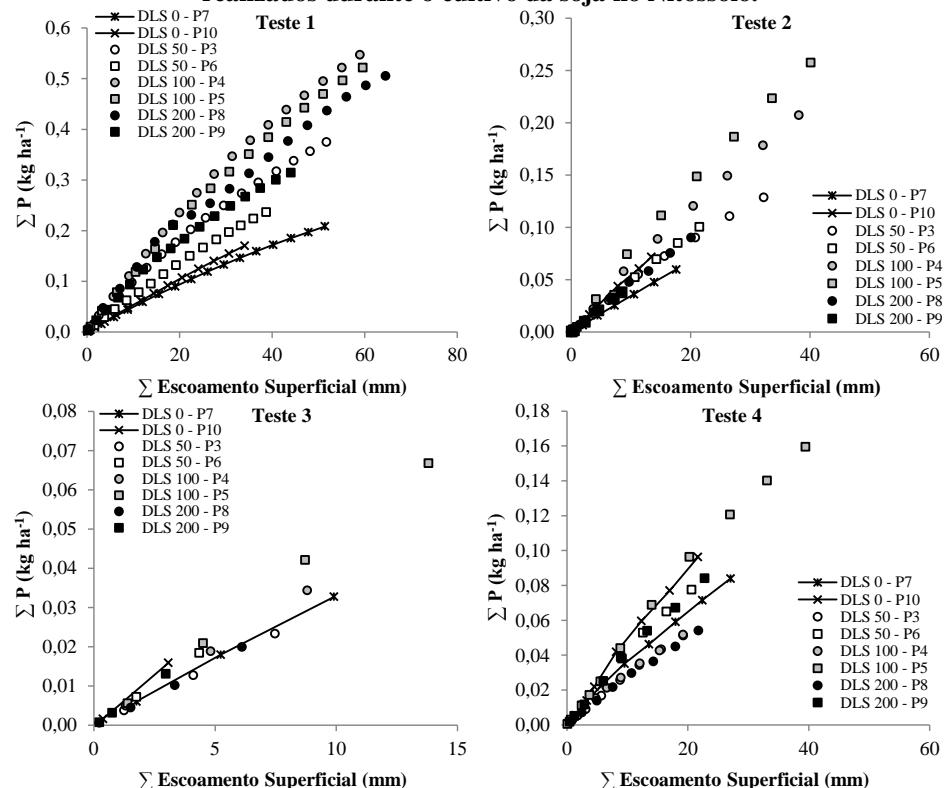
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 33 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₂⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



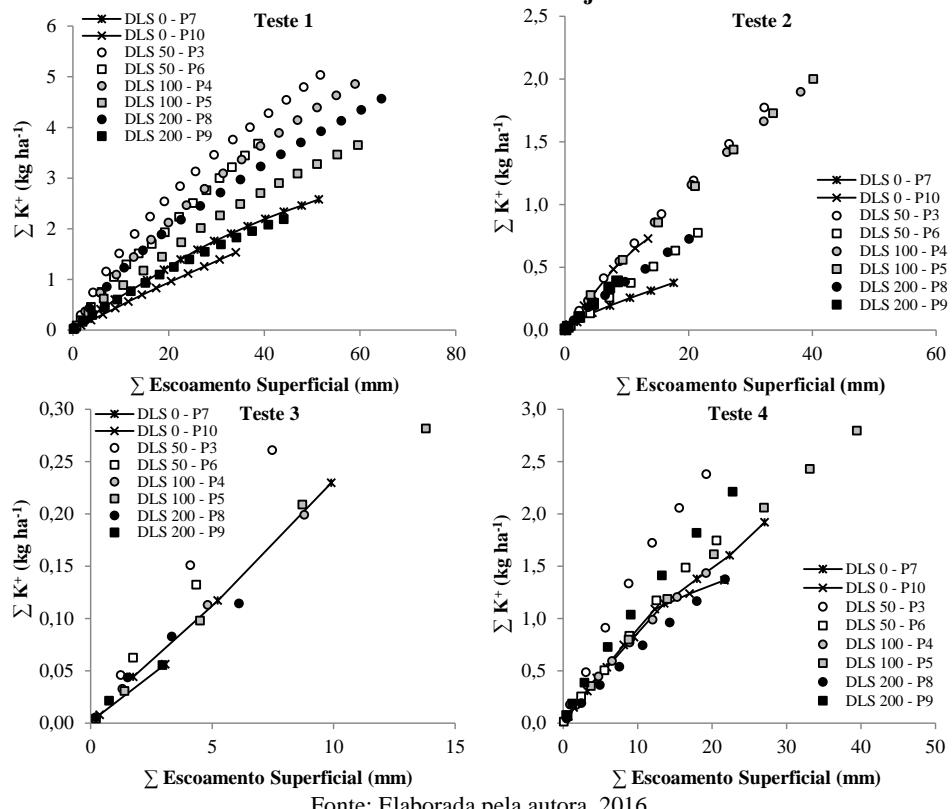
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 34 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



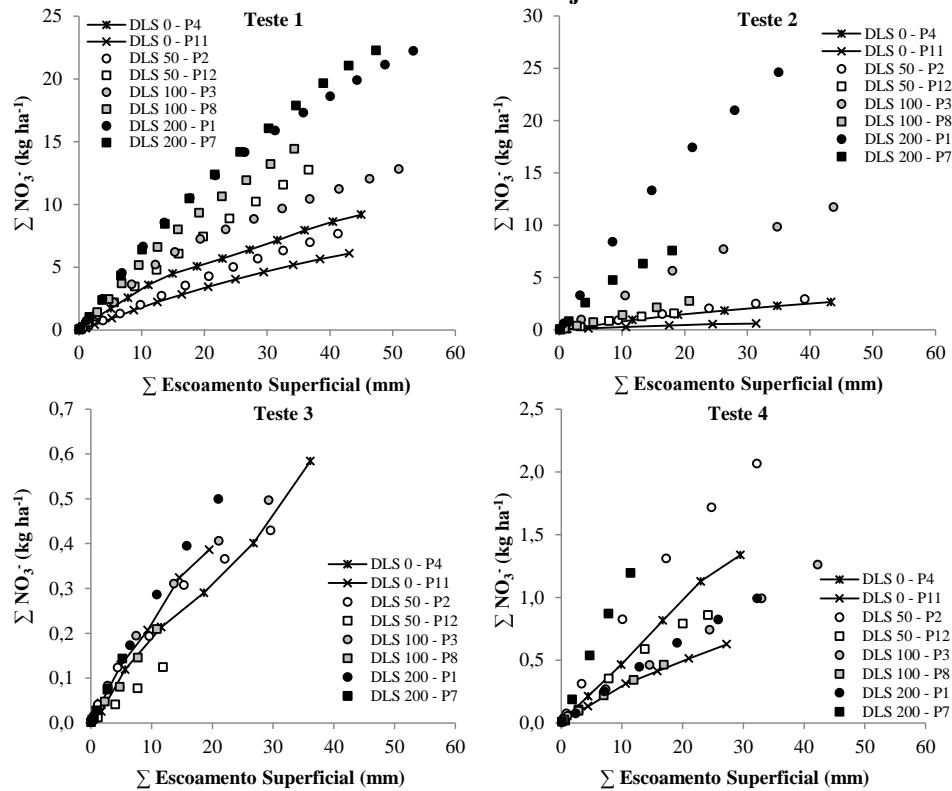
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 35 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



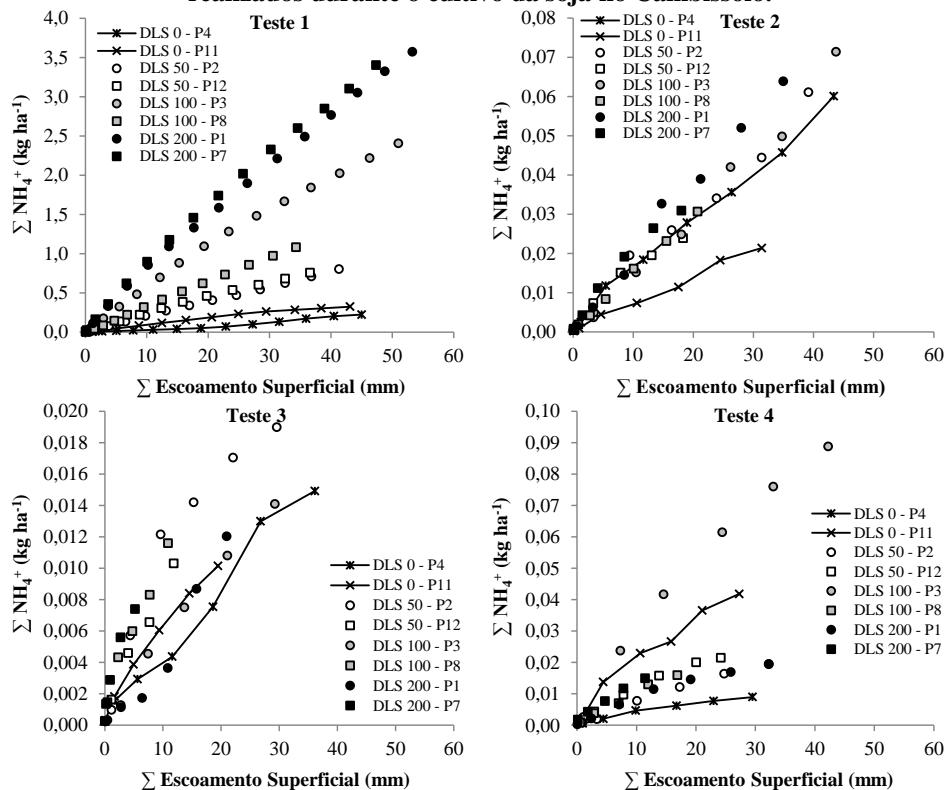
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 36 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₃⁻ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



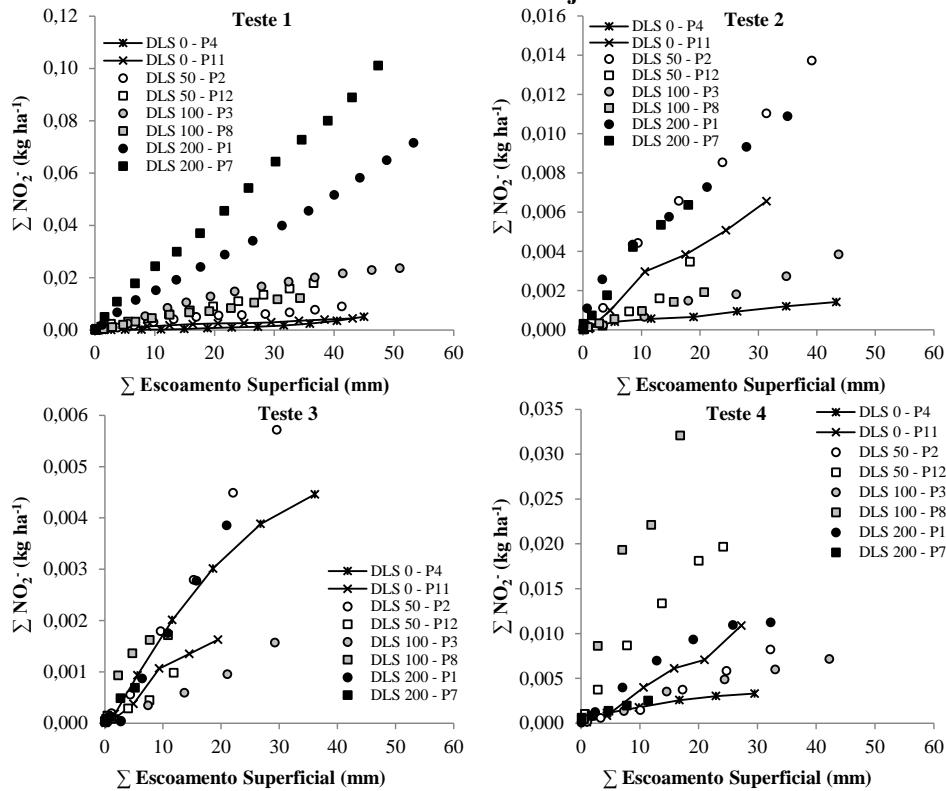
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 37 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH_4^+ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



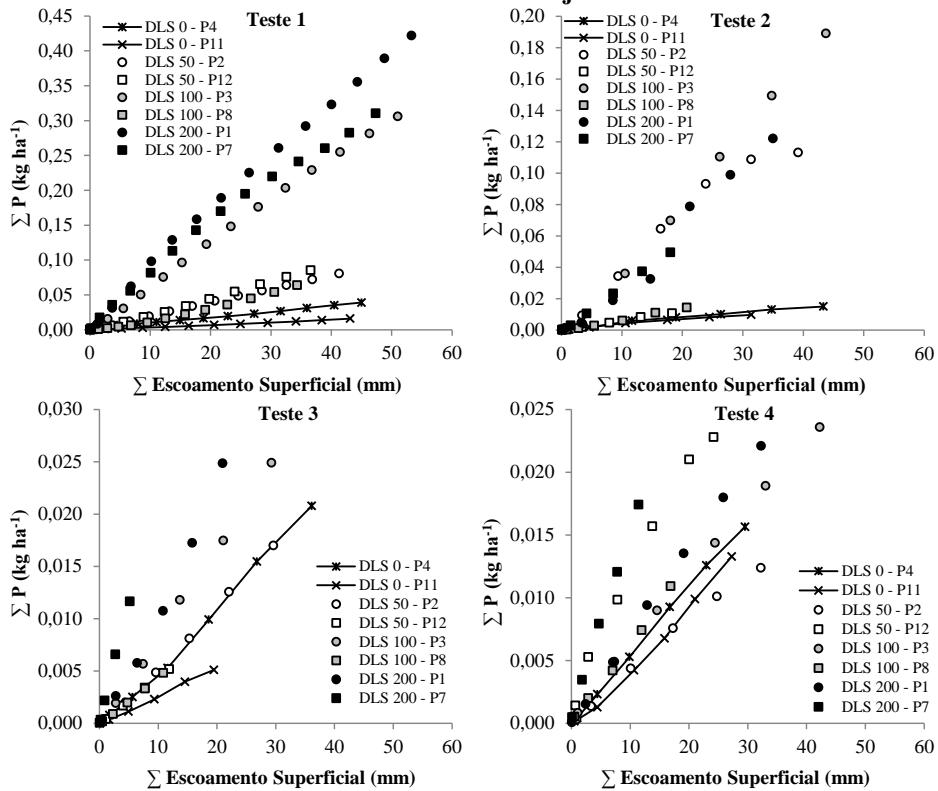
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 38 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO_2^- e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



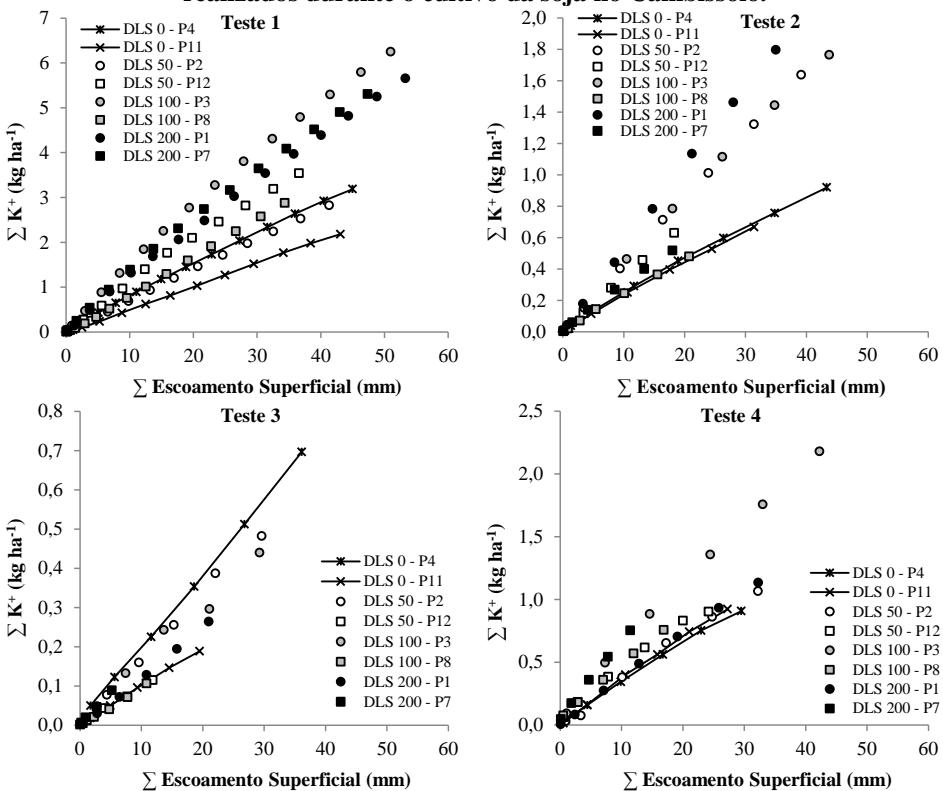
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 39 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 40 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K⁺ e escoamento superficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

No Nitossolo, Figuras 31 até 35, para todos os nutrientes durante o primeiro teste de chuva (T1), as curvas de massa acumulada no escoamento das parcelas que receberam DLS (P3, P6, P4, P5, P8 e P9) estão acima das curvas das parcelas que não receberam DLS (P7 e P10), com exceção da parcela P6 (DLS 50) para NO_2^- e da parcela P9 (DLS 200) para K^+ . A partir do segundo teste (T2) de chuva as curvas de massa acumulada de todos os nutrientes começaram a se igualar, no terceiro (T3) e quarto (T4) teste já não foi mais possível perceber diferença entre as curvas de massa acumulada no escoamento para todos os nutrientes. As Figuras 36 até 40 mostram essa mesma tendência de comportamento para a massa acumulada dos nutrientes transportados pelo escoamento superficial do Cambissolo. O que muda são as exceções observadas durante o primeiro teste (T1) de chuva, em que, apenas as curvas para NO_3^- e K^+ da parcela P2 (DLS 50) permaneceram abaixo da curva da parcela P4, umas das parcelas que não recebeu dejeto (DLS 0).

Deste modo, tanto no Nitossolo como no Cambissolo, no teste T1 se percebe uma diferença nítida, entre as parcelas, na massa dos nutrientes no escoamento, mas, com a realização dos testes de chuva subsequentes (T2, T3 e T4) essa massa tendeu a se igualar entre as parcelas, até nenhum efeito mais ser percebido da aplicação de DLS. Esse comportamento é verificado mais claramente ao se observar os gráficos de massa total de cada nutriente transportado no escoamento de cada parcela e durante cada teste de chuva simulada das Figuras 41 até 45 para o Nitossolo e das Figuras 46 até 50 para o Cambissolo. Nas mesmas figuras, comparando os gráficos de massa total com os de concentração média de nutrientes no escoamento, é perceptível que a massa total de cada nutriente transportado seguiu o comportamento da concentração média do respectivo nutriente, em todas as parcelas.

Tanto a concentração média como a massa total de todos os nutrientes no escoamento superficial, em todas as parcelas de ambos os solos (Figuras 41 até 45 e Figuras 46 até 50), foi mais elevada no primeiro teste (T1) de chuva simulada, apresentando tendência de diminuição nos testes subsequentes, T2 e T3, com posterior aumento no último teste (T4).

O aumento da concentração média e da massa total de praticamente todos os nutrientes no escoamento, em quase todas as parcelas, no último teste (T4) de chuva, é explicado pelo efeito da decomposição dos resíduos vegetais de aveia e nabo forrageiro nessa fase da pesquisa, bem como, das folhas de soja existentes na superfície do solo. Certamente, a mineralização da matéria orgânica decorrente da decomposição desse material contribuiu para esse aumento, em ambos os solos. Comportamento igual foi observado por Mecabô Júnior et al. (2014). Outro fator que pode ter influenciado o aumento da massa total dos nutrientes no escoamento do teste T4 é o fato do escoamento superficial ter aumentado também nesse teste,

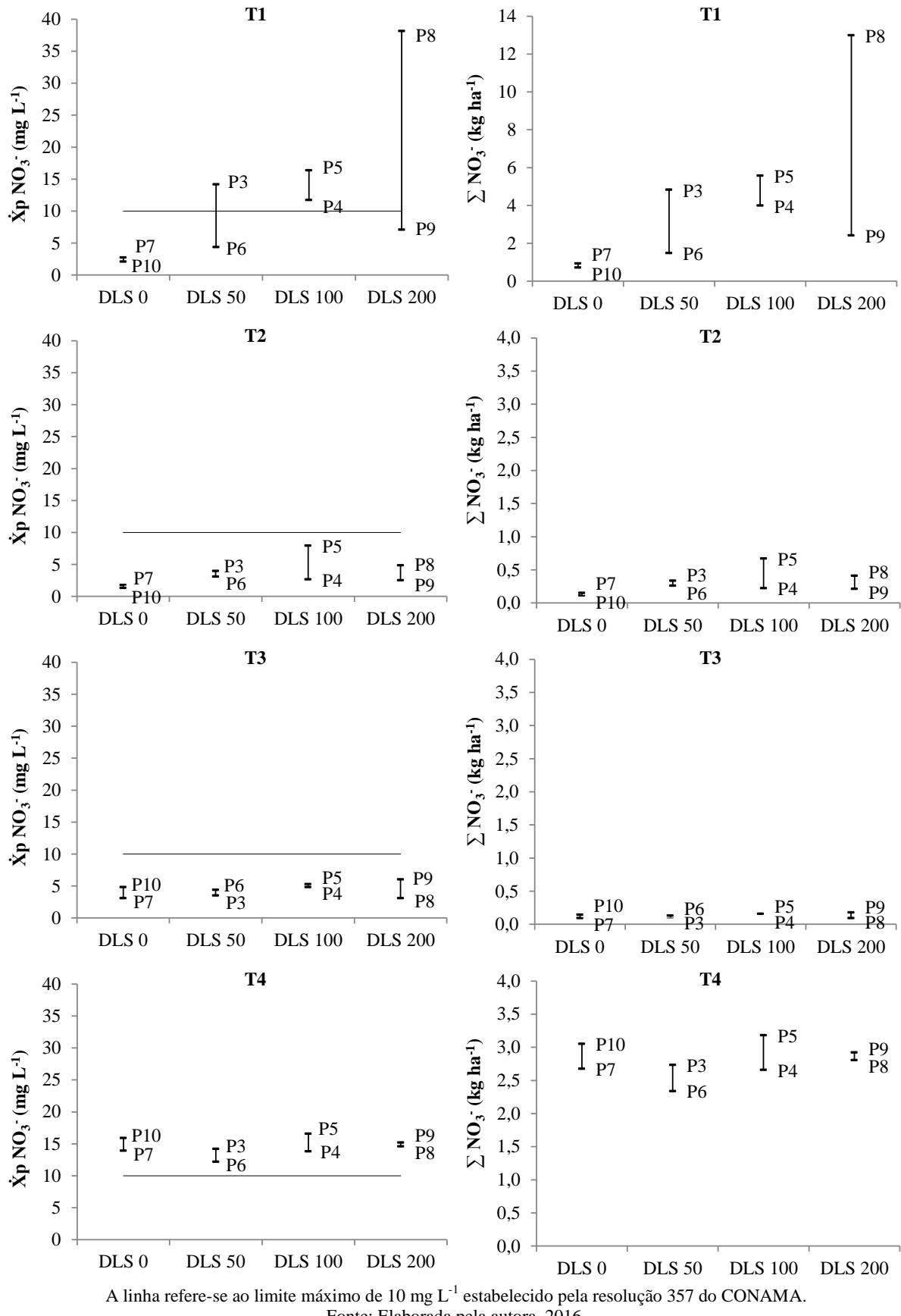
em todas as parcelas de ambos os solos (Figuras 21 e 22). O aumento do escoamento superficial no último teste (T4) de chuva, porém, se evidenciou pelo fato do escoamento ter sido menor no terceiro teste (T3), já que na ocasião os solos encontravam-se numa condição mais seca, com menor teor de água (Tabela 8).

Comparando as concentrações dos nutrientes no escoamento superficial (Figuras 41 até 45 para Nitossolo e Figuras 46 até 50 para Cambissolo) com a resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) as concentrações de NO_3^- no escoamento foram superiores ao limite máximo de 10 mg L^{-1} em quatro parcelas no primeiro teste de chuva (T1) que receberam dejeto, P3 (DLS 50), P4 (DLS 100), P5 (DLS 100) e P8 (DLS 200) e em todas as parcelas do teste T4, realizado sobre o Nitossolo (Figura 41). No Cambissolo (Figura 46), as concentrações de NO_3^- no escoamento superficial ficaram acima do limite máximo em todas as parcelas durante o teste T1, nas parcelas P3 e P8 do tratamento DLS 100 e P1 e P7 do tratamento DLS 200 durante o teste T2 e na parcela P7 (DLS 200) durante o teste T4.

As concentrações de NH_4^+ no escoamento superficial não ultrapassaram o limite máximo de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ (valor mais restritivo) estabelecido pela resolução CONAMA em todas as parcelas e testes de chuva do Nitossolo (Figura 42). No Cambissolo (Figura 47), esse limite máximo foi ultrapassado apenas no primeiro teste (T1) de chuva, nas parcelas P3 (DLS 100), P7 (DLS 200) e P1 (DLS 200). Para o NO_2^- , as concentrações no escoamento superficial permaneceram abaixo do limite máximo estabelecido, de 1 mg L^{-1} , em todas as parcelas e em todos os testes de chuva simulada realizados em ambos os solos (Figuras 43 e 48). Em relação ao P, a concentração limite de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ (valor mais restritivo) foi superada no escoamento superficial de todas as parcelas e em todos os testes de chuva simulada nos dois solos, Nitossolo e Cambissolo (Figuras 44 e 49).

Diante disso, conclui-se que a aplicação de DLS como fertilizante no solo elevou as concentrações dos nutrientes, NO_3^- e P, no escoamento superficial do Nitossolo e dos nutrientes, NO_3^- , NH_4^+ e P no escoamento superficial do Cambissolo, ao ponto de ultrapassar os limites permitidos pela legislação brasileira, podendo causar poluição das águas superficiais, caso estas sejam atingidas por escoamentos contendo estes nutrientes. Mesma consequência da aplicação de DLS em um Latossolo Vermelho distroférreo foi observada por Oliveira et al. (2015) no escoamento superficial para os nutrientes, NH_4^+ , NO_3^- , P, Zn^{2+} e Cu^{2+} . Desta forma, o uso de DLS deve ser constantemente monitorado a fim de diminuir os riscos ambientais decorrentes de sua aplicação no solo como fertilizante.

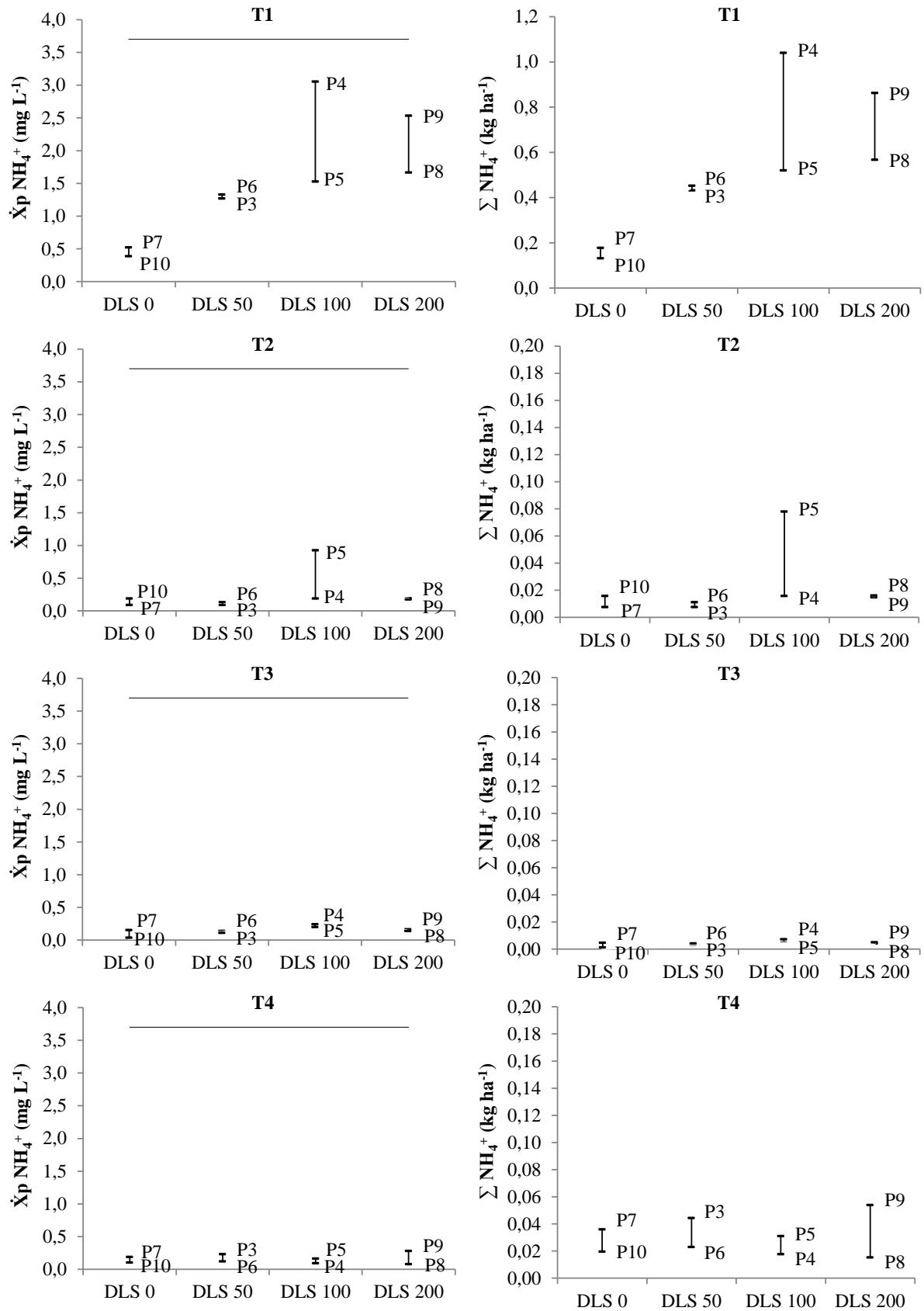
Figura 41 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (\sum) padronizada de NO_3^- no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

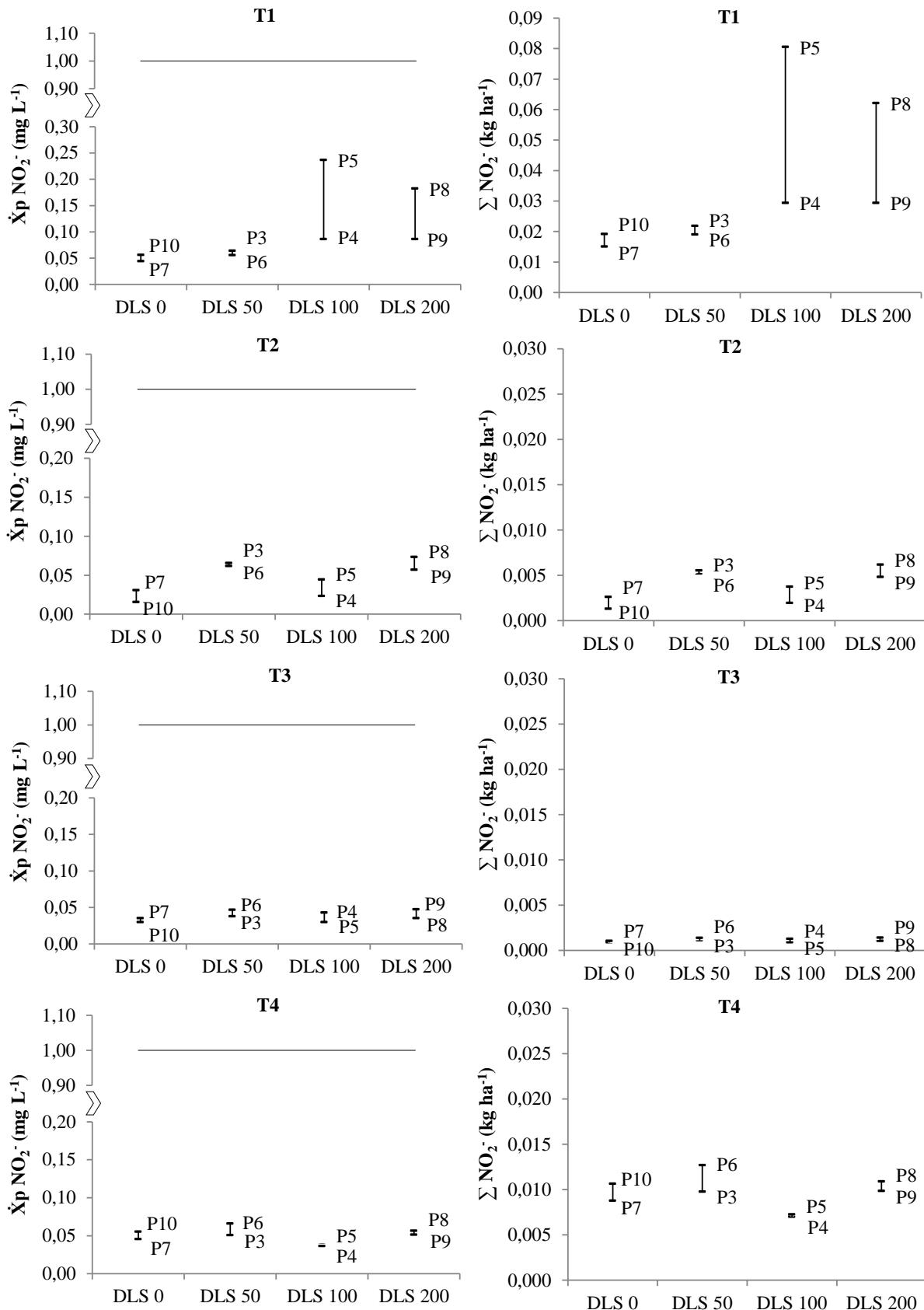
Figura 42 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 3,7 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

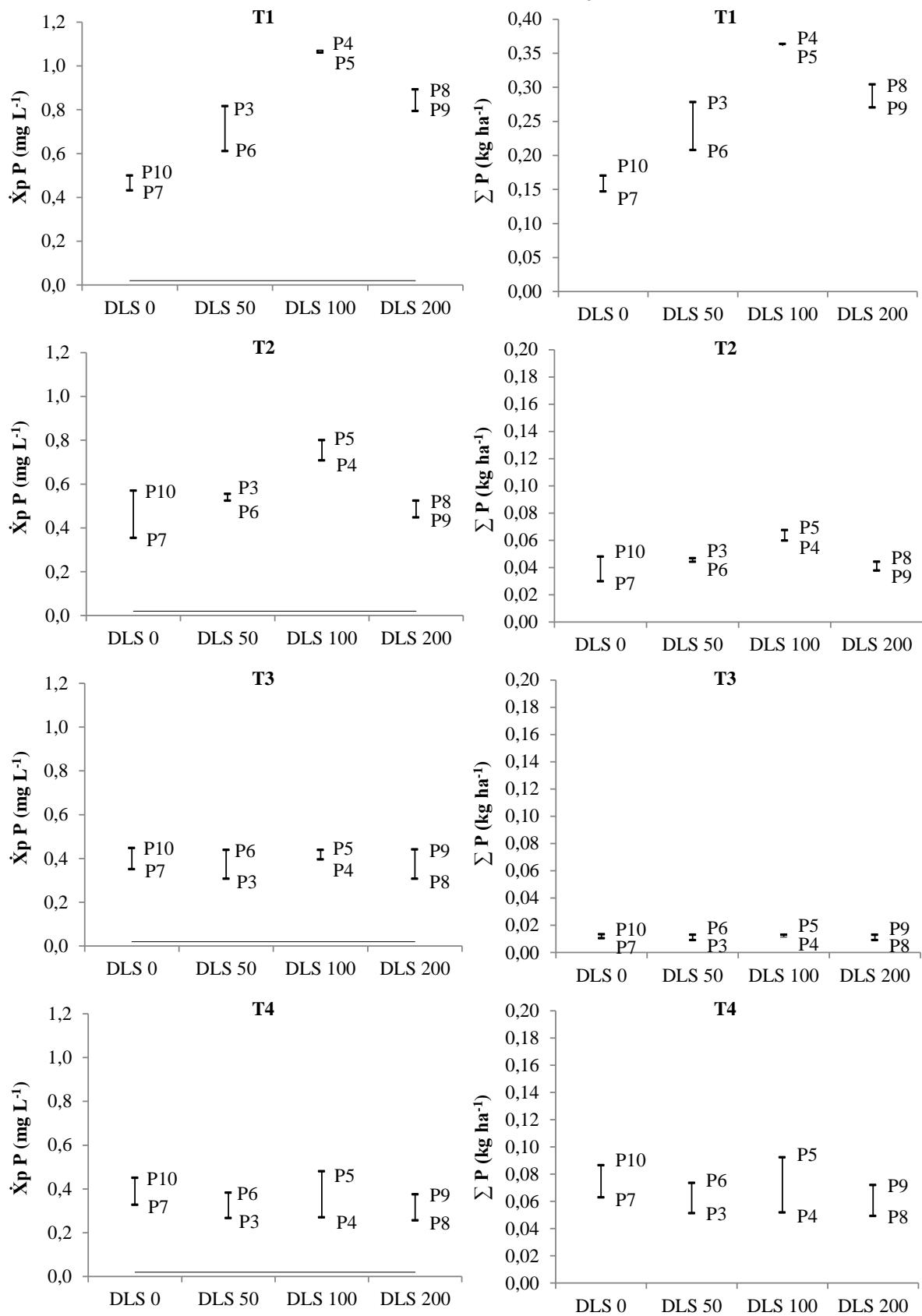
Figura 43 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₂⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

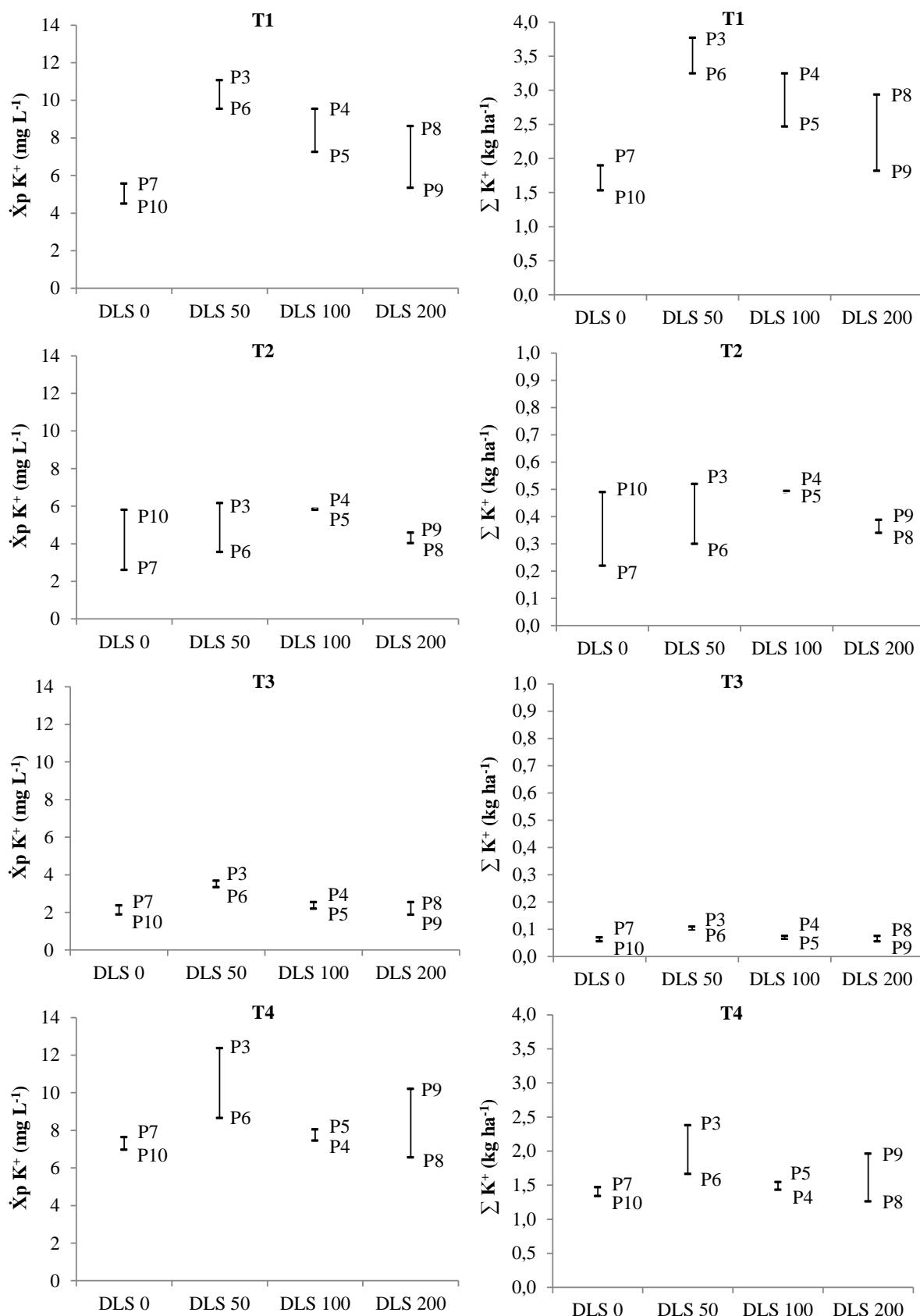
Figura 44 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}P$) padronizada e massa total (ΣP) padronizada de P no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 0,02 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

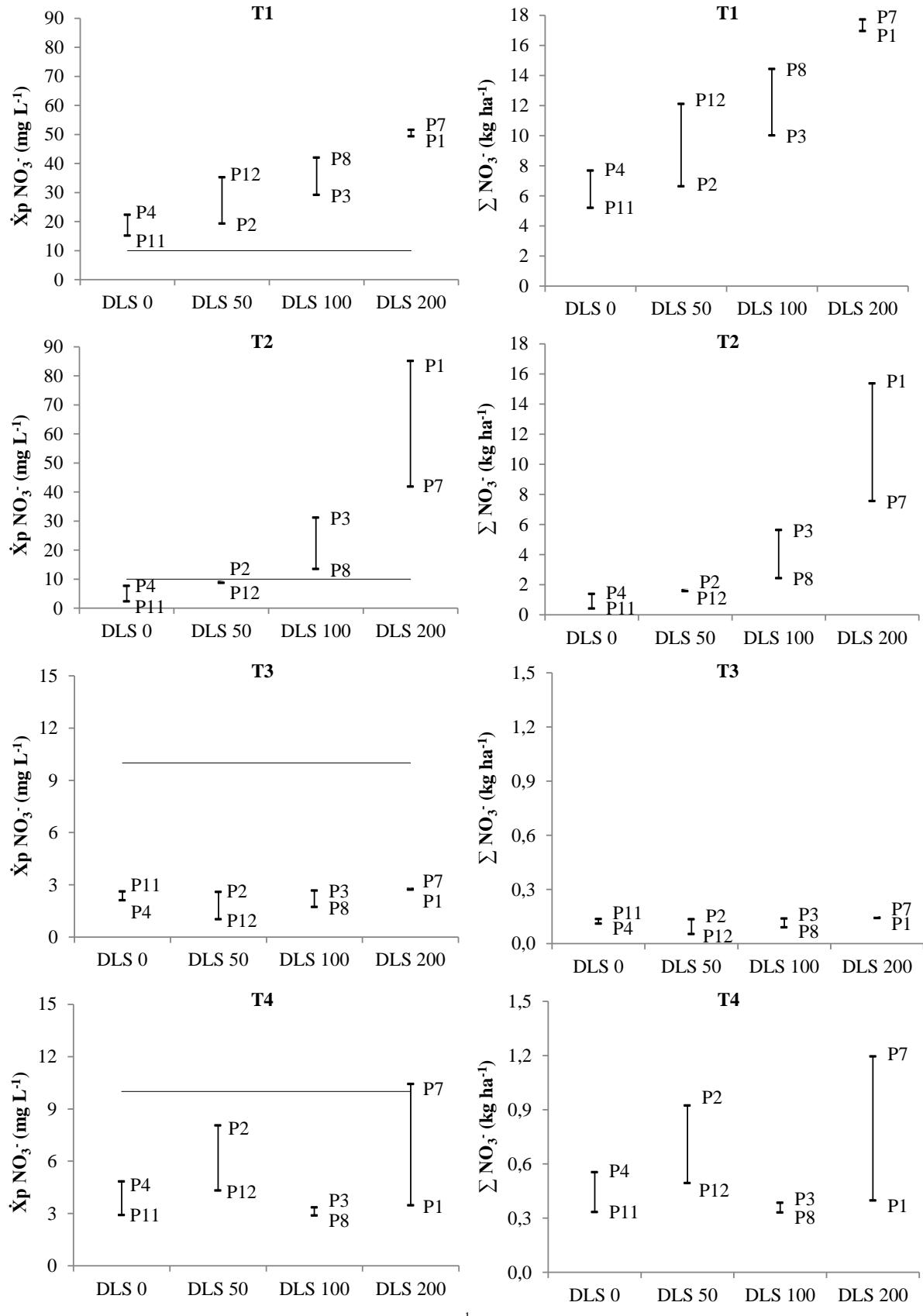
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 45 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}p$) padronizada e massa total (\sum) padronizada de K⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

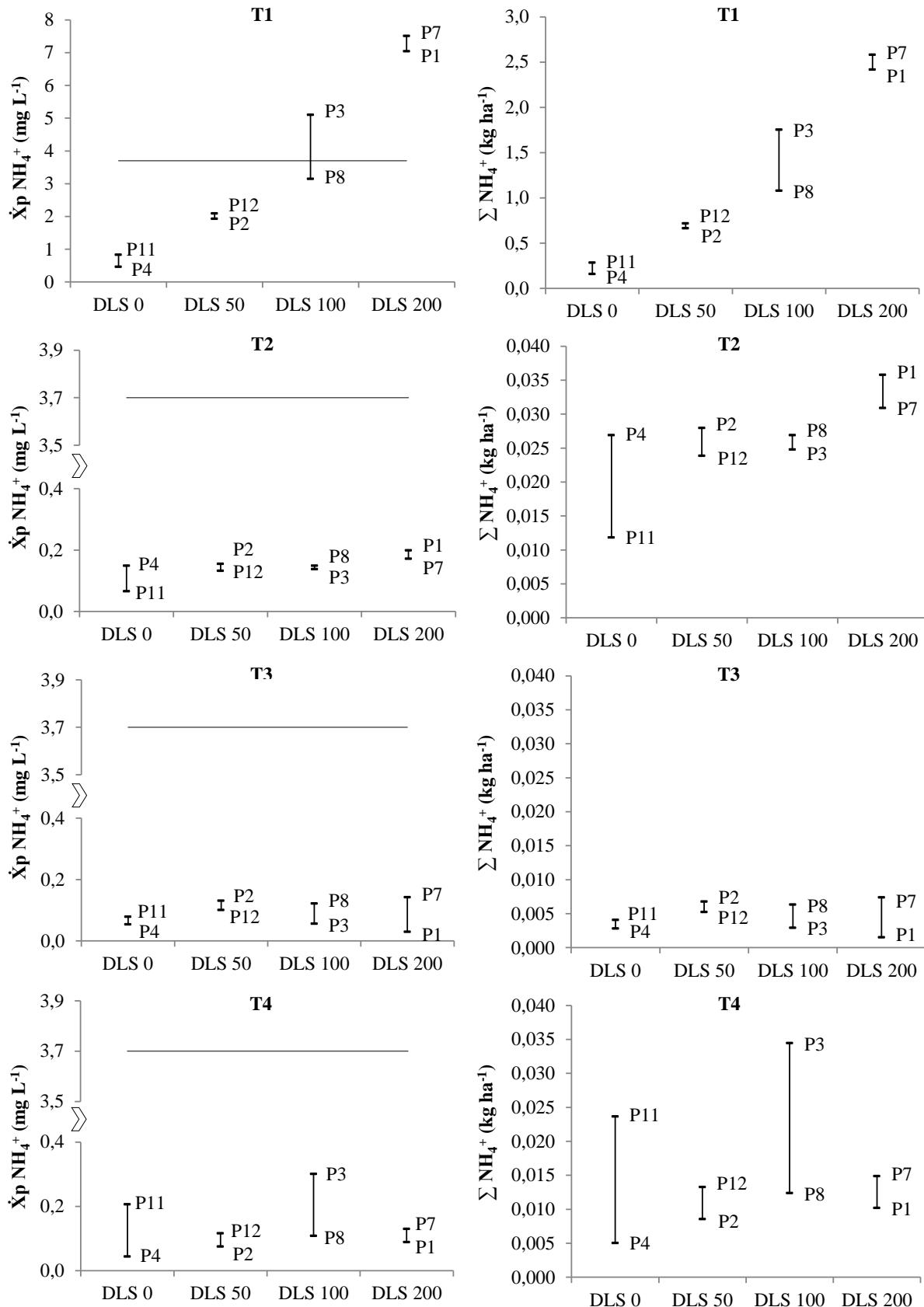
Figura 46 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

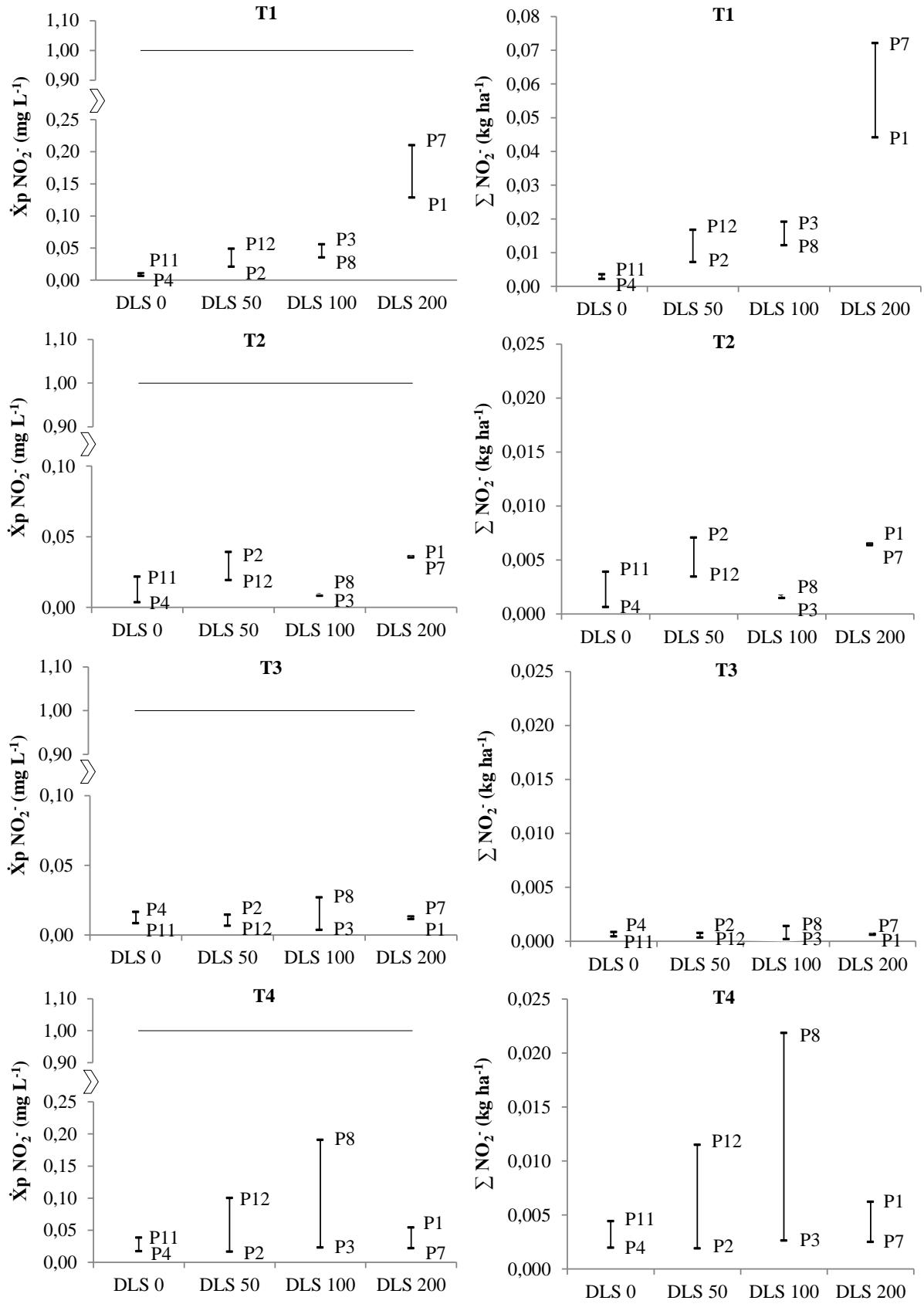
Figura 47 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambíssolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 3,7 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

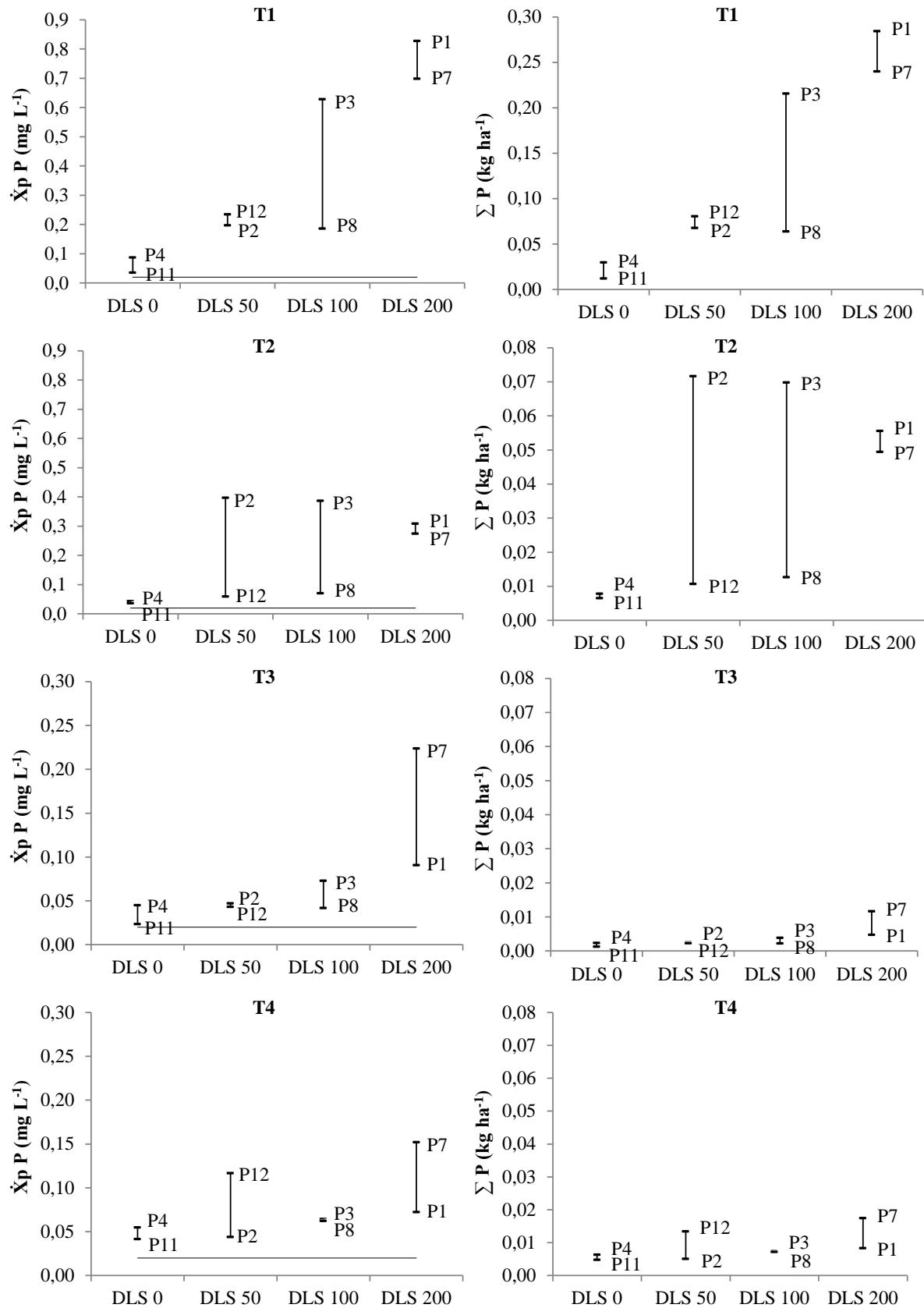
Figura 48 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₂ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

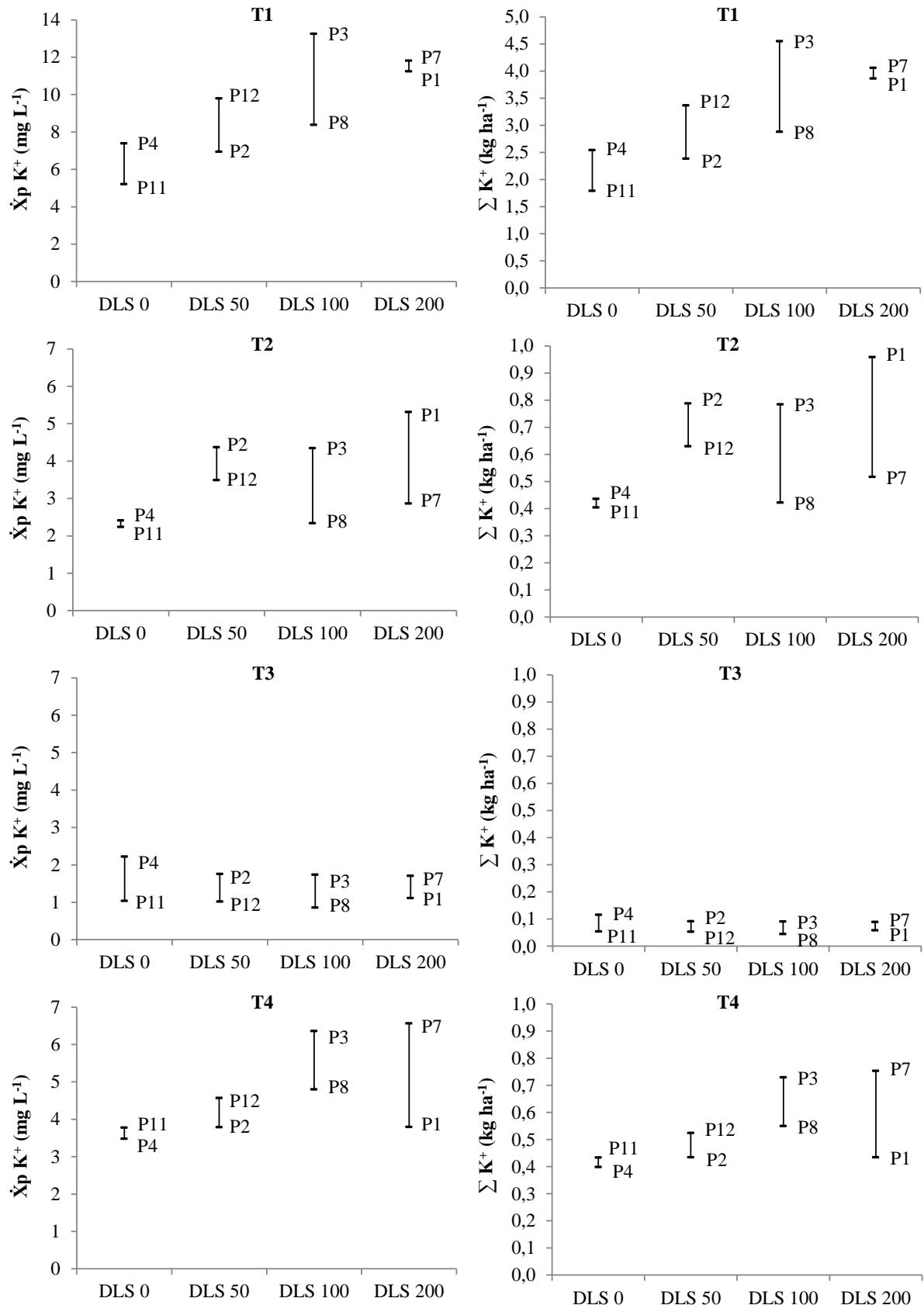
Figura 49 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}p$) padronizada e massa total ($\sum P$) padronizada de P no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 0,02 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 50 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K⁺ no escoamento superficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



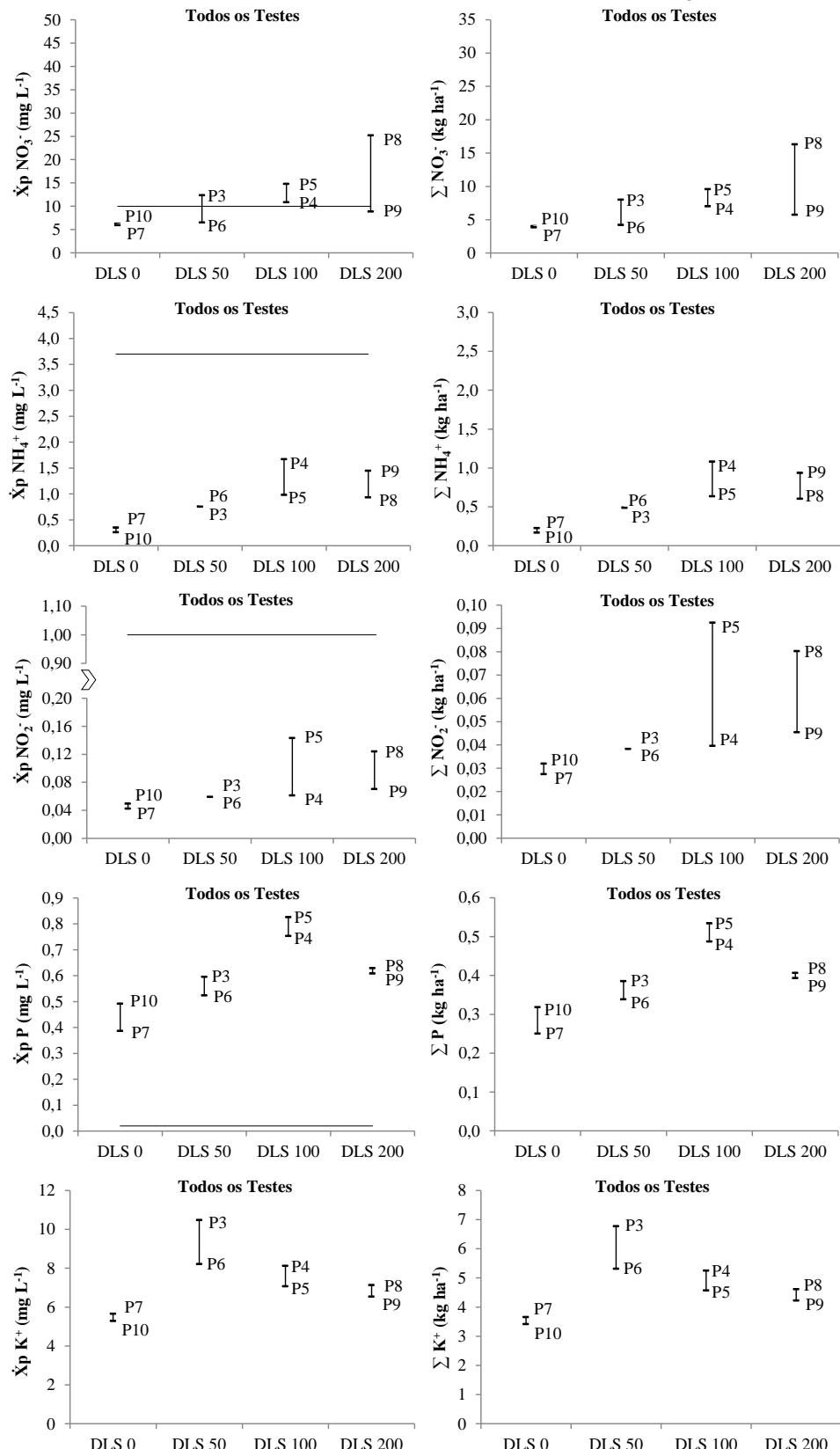
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Comparando os dois solos (Figuras 51 e 52), pode-se dizer, de maneira geral, que a concentração média e a massa total de NO_2^- , P e K^+ foram maiores no escoamento superficial do Nitossolo, enquanto, para NO_3^- e NH_4^+ foi verificada maior concentração média e massa total no escoamento superficial do Cambissolo, apesar de todos os nutrientes estarem presentes em maior massa no Nitossolo (Figuras 10 e 11). Independentemente do solo e do tratamento, o nutriente com maior concentração média no escoamento e com maior massa total transportada pelo escoamento superficial foi o NO_3^- , seguido por K^+ , NH_4^+ , P e NO_2^- . Com doze aplicações de dejeto suíno sobre um Argissolo, entre os anos de 2002 e 2007, Ceretta et al. (2010) observaram que o transporte por escoamento superficial de K^+ foi maior que a de P e, deste, maior que a de N.

Diante do que foi apresentado e discutido, pode-se afirmar que, em relação à concentração média dos nutrientes no escoamento superficial, bem como, quanto à massa total dos nutrientes transportados pelo escoamento superficial do Nitossolo e do Cambissolo, houve efeito do DLS no primeiro teste (T1) e, em alguns casos esse efeito foi percebido ainda no teste T2 e T3 de chuva simulada. No teste T4 não mais foi percebido efeito das doses de DLS.

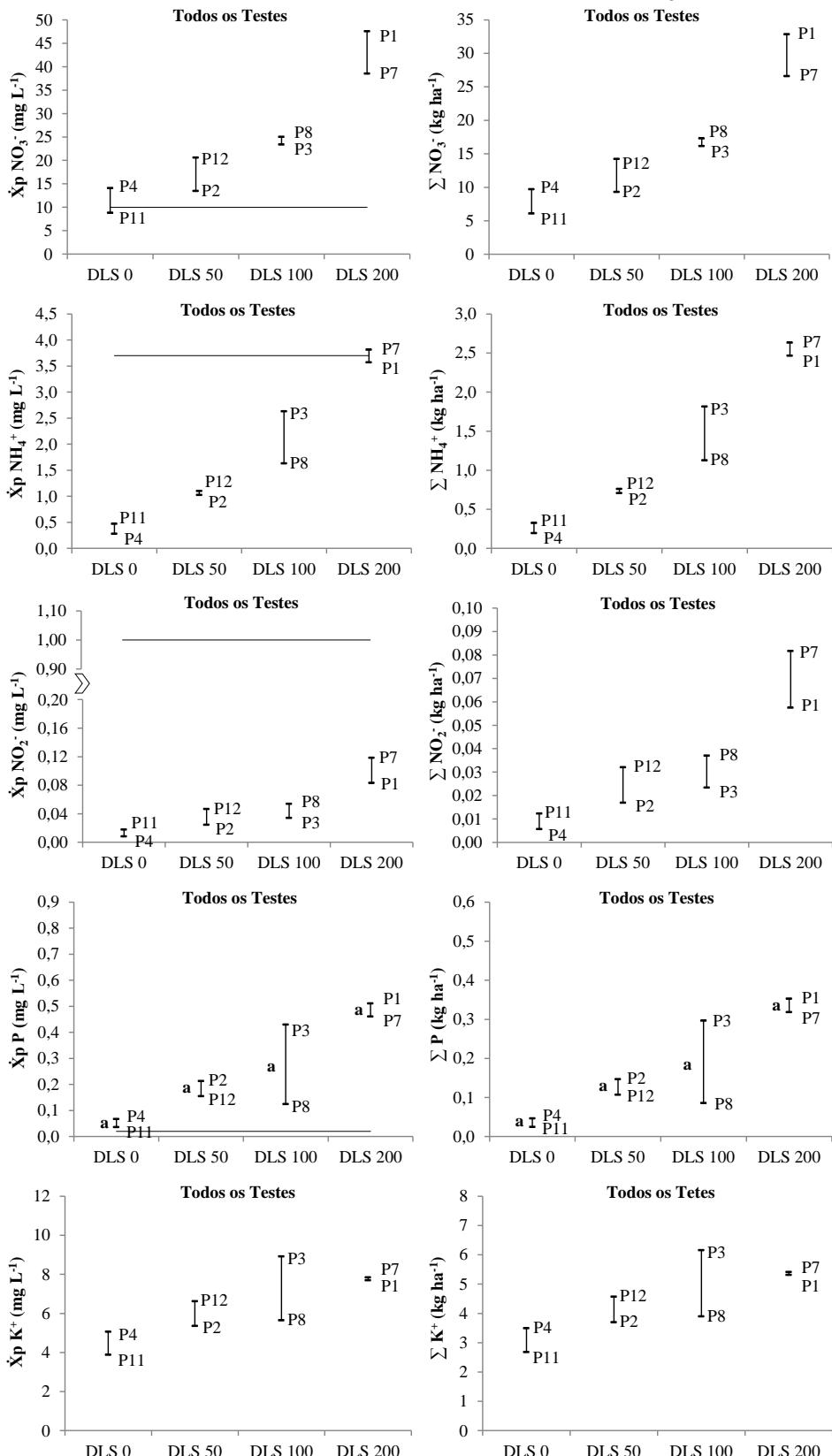
Enfim, no teste T1 a tendência foi clara de aumento da concentração média e da massa total de todos os nutrientes avaliados no escoamento superficial de acordo com o aumento da dose de DLS. Isso corrobora com o observado por Ceretta et al. (2005), o qual constatou que as concentrações de fósforo disponível e nitrogênio mineral no escoamento superficial foram diretamente relacionadas com as doses de DLS ($0, 20, 40$ e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Avaliando as mesmas doses de DLS ($0, 50, 100$, e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) sobre o mesmo Nitossolo, avaliado no presente estudo, Mocabô Júnior et al. (2014), observaram que as massas totais de P e K^+ transportadas não foram influenciadas pela dose de DLS, aplicado uma única vez, durante o cultivo da aveia. Por outro lado, Ceretta et al. (2010), constataram que o transporte de N e P diminuiu e de K^+ tendeu a diminuir com o aumento da dose de dejeto suíno ($20, 40$ e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Figura 51 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (\sum) padronizada de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10; 3,7; 1,0 e 0,02 mg L⁻¹ estabelecido, respectivamente, para NO_3^- ; NH_4^+ ; NO_2^- e P, pela resolução 357 do CONAMA. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 52 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K⁺ no escoamento superficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10; 3,7; 1,0 e 0,02 mg L⁻¹ estabelecido, respectivamente, para NO_3^- ; NH_4^+ ; NO_2^- e P, pela resolução 357 do CONAMA. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

O efeito das diferentes doses de DLS sobre as concentrações e massas de todos os nutrientes apareceu mais acentuadamente no primeiro teste de chuva (T1), pelo fato deste teste ter sido realizado apenas 15 horas após a aplicação do DLS. Eventos de chuva intensa logo após a aplicação de dejetos sem incorporação no solo aumentam o risco de transporte de nutrientes por escoamento superficial (ALLEN; MALLARINO, 2008). Smith et al. (2007) constataram que quando aplicado na superfície de uma pastagem, o DLS demonstrou maior risco à qualidade da água quando a chuva ocorreu um dia após a aplicação do dejetos, em relação ao fertilizante mineral e a cama de frango aplicados nas mesmas doses. À medida que aumentou o tempo entre a aplicação do DLS e a chuva simulada os riscos de transporte de P e N pelo escoamento superficial diminuíram. A legislação europeia estabelece que não é permitida a aplicação de fertilizantes químicos ou orgânicos sobre o solo se fortes chuvas estão previstas nas 48 horas subsequentes à aplicação (SI, 2014). Ao testar esse e outros dois intervalos de tempo menores (48, 24 e 12 horas) Flynn et al. (2013) confirmaram que um intervalo de tempo seguro entre a aplicação do dejetos e o primeiro evento de chuva, para reduzir o transporte de P e sedimentos pelo escoamento superficial, não pode ser menor do que 48 horas.

Ao se considerar todos os testes de chuva (Figura 51 e 52), a concentração média e massa total dos nutrientes P e K⁺ no escoamento superficial do Nitossolo e dos nutrientes NO₃⁻, NH₄⁺ e NO₂⁻ no escoamento superficial do Cambissolo apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. No Nitossolo, a concentração e massa de P no escoamento superficial do tratamento DLS 100 se mostrou estatisticamente diferente da observada nos tratamentos DLS 0 e DLS 50, enquanto que a concentração e massa de K⁺ no escoamento superficial do tratamento DLS 50 diferiu estatisticamente da observado para o tratamento DLS 0. No Cambissolo, a concentração e massa de NO₃⁻ e NH₄⁺ no escoamento superficial do tratamento DLS 200 foi estatisticamente diferente em relação à dos demais tratamentos. No caso do NO₂⁻, sua concentração e massa no escoamento superficial do tratamento DLS 200 diferiu estatisticamente apenas da apresentada pelo tratamento DLS 0.

6.5 ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL

6.5.1 Taxa de escoamento subsuperficial

Em função da melhora crescente dos atributos físicos do solo, o escoamento subsuperficial aumenta de acordo com o aumento da dose de DLS. Os dados para confirmar ou refutar essa hipótese foram obtidos por meio de lisímetro de Ebermayer instalado no solo em cada parcela, a partir do qual a vazão do escoamento subsuperficial foi medida em intervalos de 10 minutos durante o fluxo de escoamento subsuperficial de cada teste de chuva simulada realizada sobre o Nitossolo e Cambissolo.

Primeiramente é apresentado o tempo de início do escoamento subsuperficial, por parcela e teste de chuva simulada, na Tabela 10 para Nitossolo e Cambissolo. Em sequência os dados de escoamento subsuperficial acumulado ao longo do tempo, Figuras 53 e 54, e o volume total escoado por parcela e teste de chuva podem ser observados nas Figuras 55 e 56 para Nitossolo e Cambissolo, respectivamente. Na Figura 57 é apresentado o escoamento subsuperficial total, considerando os quatro testes de chuva, por parcela e em cada solo.

Tabela 10 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no tempo de início (Ti) do escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.

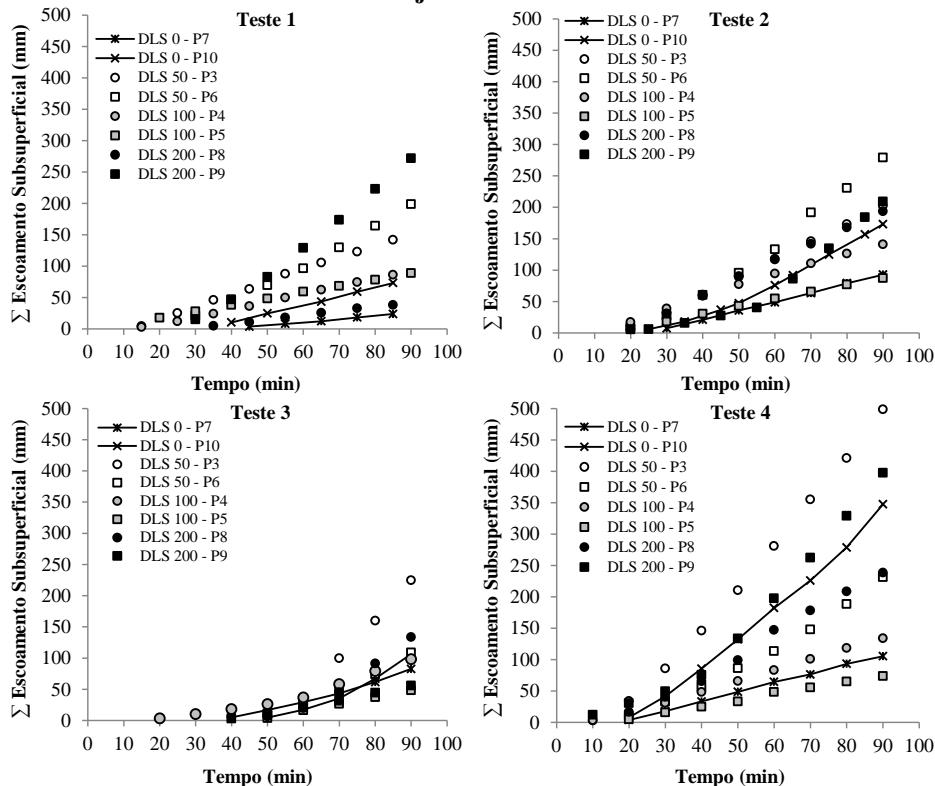
Nitossolo						Cambissolo					
Tratamento	Parcela	Ti (min)				Tratamento	Parcela	Ti (min)			
		T1	T2	T3	T4			T1	T2	T3	T4
DLS 0	P7	38	26	38	17	DLS 0	P4	46	39	45	36
	P10	35	22	49	18		P11	81	29	25	29
DLS 50	P3	14	13	36	9	DLS 50	P2	26	21	29	28
	P6	22	16	45	19		P12	34	29	29	33
DLS 100	P4	14	11	18	9	DLS 100	P3	34	28	31	17
	P5	18	18	45	19		P8	24	22	26	25
DLS 200	P8	27	19	47	15	DLS 200	P1	20	18	15	26
	P9	29	22	39	9		P7	23	25	27	28

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Na Tabela 10, percebe-se que no Nitossolo, o tempo de início do escoamento subsuperficial foi mais tardio nas parcelas dos tratamentos DLS 0 e DLS 200. Já no Cambissolo o escoamento subsuperficial demorou mais a começar nas parcelas do tratamento DLS 0. Em ambos os solos esse comportamento ficou mais evidente apenas no primeiro teste de chuva (T1). Isso provavelmente aconteceu porque nas parcelas do tratamento DLS 0, dos

dois solos, o teor de água no solo antecedente à chuva estava mais baixo em profundidade do que nas demais parcelas que receberam DLS, por isso o tempo de início do escoamento foi maior. Por isso, também, que apenas no primeiro teste de chuva simulada (T1) as parcelas do tratamento DLS 0, tanto do Nitossolo (P7 e P10) como do Cambissolo (P4 e P11), apresentaram escoamento subsuperficial menor que as parcelas dos outros tratamentos, com exceção de uma parcela (P9) do tratamento DLS 200 no Nitossolo. As curvas do escoamento subsuperficial acumulado ao longo do tempo (Figura 53 para Nitossolo e Figura 54 para Cambissolo) ou os gráficos do total escoado (Figura 55 para Nitossolo e Figura 56 para Cambissolo) apontam para isso.

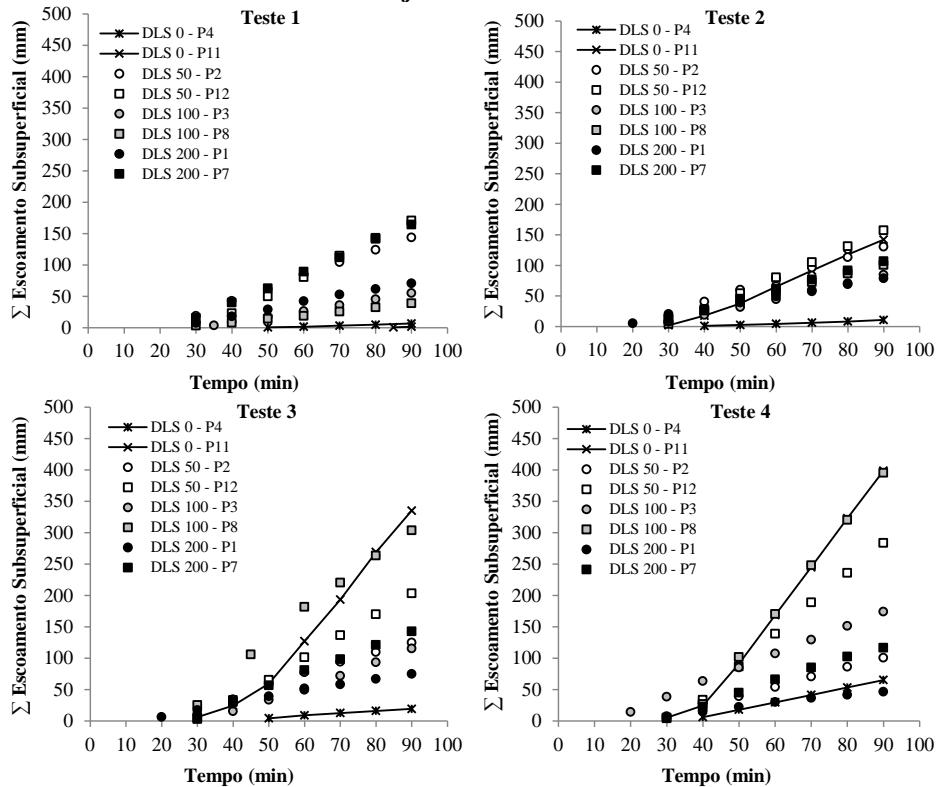
Figura 53 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no escoamento subsuperficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Para o Nitossolo, o escoamento subsuperficial foi semelhante entre os testes T4 e T3 e entre os testes T2 e T1, sendo que os dois primeiros apresentaram escoamento maior que os dois últimos (Figura 55). No Cambissolo, o maior escoamento subsuperficial ocorreu no teste T4, sendo que nos testes de chuva T1, T2 e T3 o escoamento foi semelhante entre eles, porém menor em relação ao do teste T4 (Figura 56). Isso mostra que nos dois solos ocorre uma ligeira tendência de aumento do escoamento subsuperficial do teste T1 ao T4.

Figura 54 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento subsuperficial acumulado (Σ) ao longo do tempo em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.

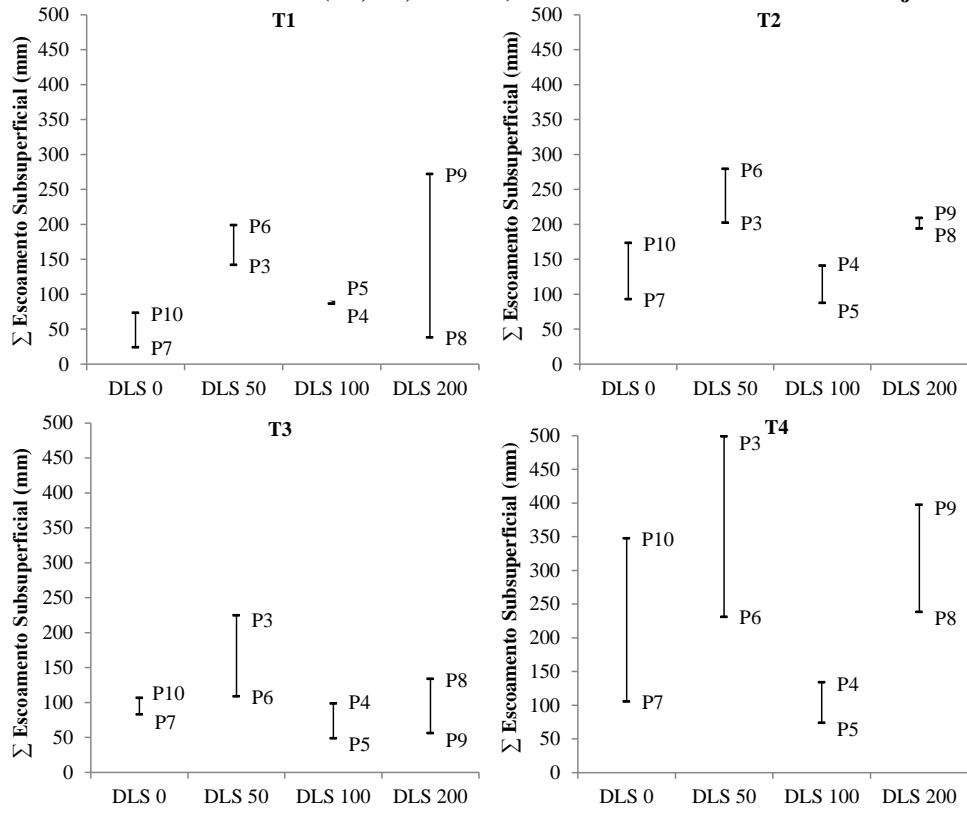


Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Comparando os dois solos, o volume total escoado subsuperficialmente (Figura 57), considerando todos os testes de chuva, foi levemente maior no Nitossolo, apesar de neste solo o escoamento ter sofrido maior redução no teste T3 (Figura 55), por conta do menor teor de água no solo antecedente à chuva.

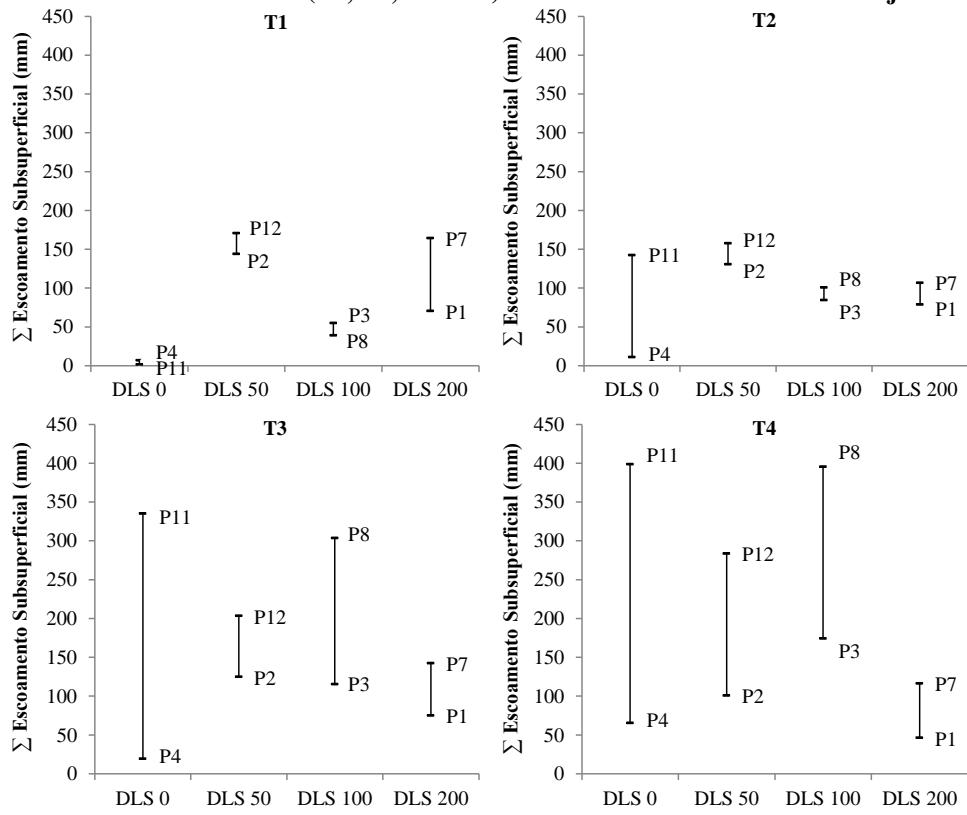
Conclui-se, com isso, que a dose de DLS não influenciou tempo de início do escoamento subsuperficial e que as curvas (Figuras 53 e 54) e barras (Figuras 55 e 56) representando as parcelas representam um comportamento aleatório dos dados, não sendo possível perceber se o escoamento subsuperficial total aumentou com o aumento da dose de DLS aplicado no solo. De tal maneira que na Figura 57 percebe-se que o escoamento subsuperficial total, considerando todos os testes de chuva, não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, tanto no Nitossolo como no Cambissolo.

Figura 55 – Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento subsuperficial total (\sum) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



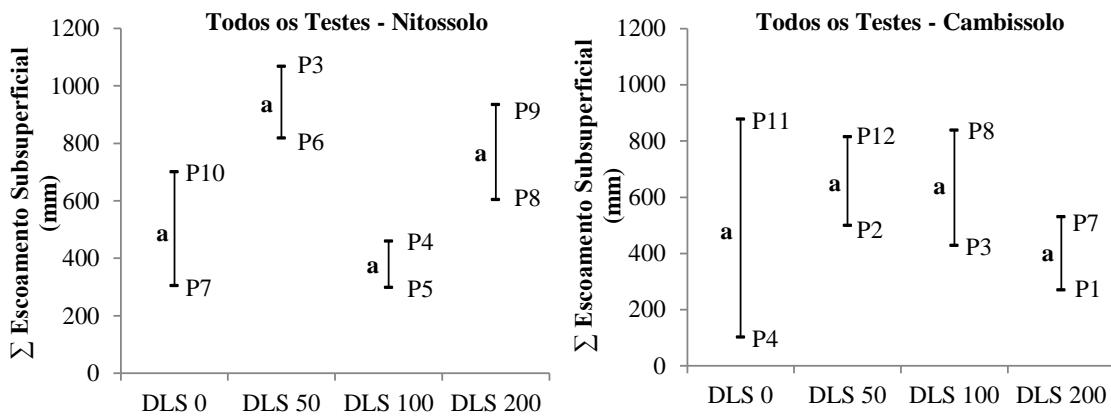
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 56 – Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no escoamento subsuperficial total (\sum) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 57 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) no escoamento subsuperficial total (Σ) de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo e no Cambissolo.



Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Por fim, é importante esclarecer que, em virtude da forma como o lisímetro de Ebermayer foi colocado no solo para medir o escoamento subsuperficial, o mesmo sofreu contribuição de uma área de drenagem maior do que a área do próprio lisímetros. No entanto, devido à metodologia adotada com esse lisímetro não foi possível controlar a área efetiva de contribuição do fluxo lateral sobre a área do lisímetro. Para trabalhos futuros dessa natureza sugere-se o isolamento da área do lisímetro de Ebermayer a partir da superfície do solo até a camada no perfil do solo onde ele se encontra instalado, para, assim, controlar a entrada de fluxo lateral, se assim for desejado. Assim, passaria através do lisímetro apenas a água oriunda da precipitação sobre a sua área.

6.5.2 Nutrientes no escoamento subsuperficial

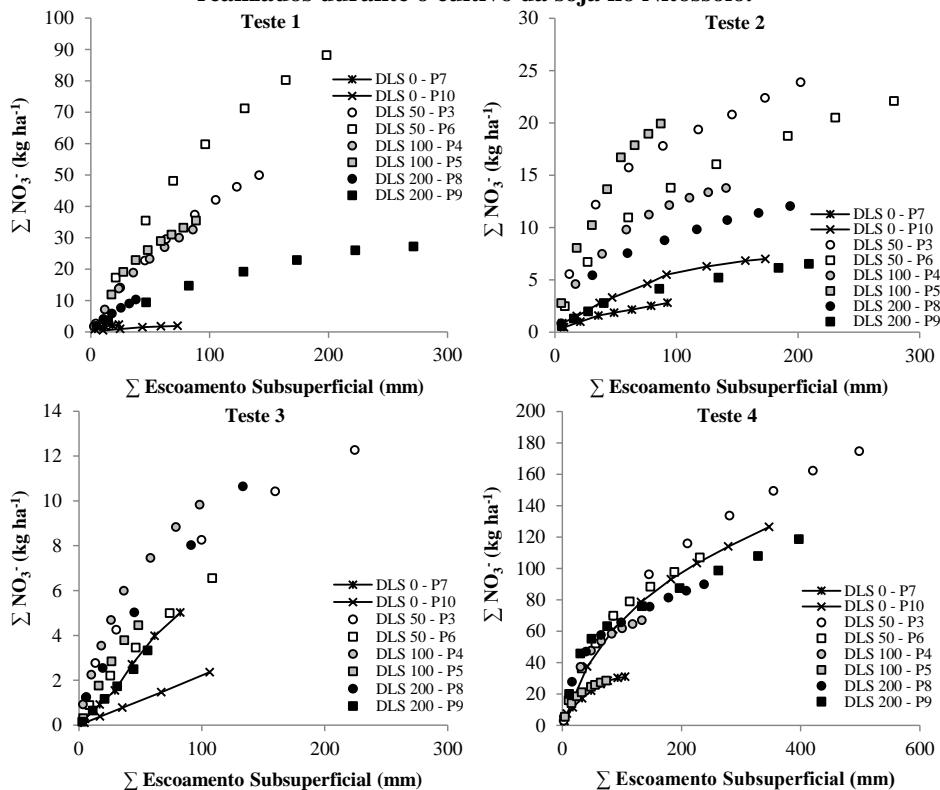
Com o aumento da dose de DLS espera-se um aumento da quantidade de nutrientes no escoamento subsuperficial, devido ao aporte destes via dejeto ao solo. Para testar essa hipótese foi determinado NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ em amostras do escoamento subsuperficial coletadas a cada 10 minutos durante cada teste de chuva simulada. Nas Figuras 58 até 62 e 63 até 67, Nitossolo e Cambissolo, respectivamente, podem ser observados os gráficos que relacionam a massa acumulada do nutriente com o escoamento subsuperficial acumulado, por parcela e teste de chuva simulada. Nas Figuras 68 até 72, referentes ao Nitossolo e nas Figuras 73 até 77, referentes ao Cambissolo, é exposta a massa total transportada de cada nutriente, por parcela e teste de chuva.

O volume total de escoamento subsuperficial não foi igual entre as parcelas, por isso, foi feita uma padronização para a melhor comparação, entre as parcelas, da massa total de cada nutriente contido no fluxo. Para essa padronização foi realizado um corte nas curvas das Figuras 58 até 62 e 63 até 67. O corte foi realizado com base na curva que apresentava o menor volume de escoamento, ou seja, as curvas de maior escoamento foram cortadas para se igualarem à curva de menor escoamento. Assim, o valor considerado como total de massa transportada, para cada nutriente, nas Figuras 68 até 72 (Nitossolo) e Figuras 73 até 77 (Cambissolo), foi padronizado para o mesmo valor de escoamento subsuperficial em todas as parcelas. A concentração média de cada nutriente, com a padronização do valor de escoamento subsuperficial em todas as parcelas, mais o valor permitido pela legislação, também pode ser observada nas mesmas figuras.

Nas Figuras 58 até 62 (Nitossolo) e as Figuras 63 até 67 (Cambissolo) percebe-se que a massa de todos os nutrientes aumentou com o aumento do escoamento subsuperficial em todas as parcelas e testes de chuva simulada. Contudo, esse aumento foi maior no início do escoamento devido à maior concentração dos nutrientes no início.

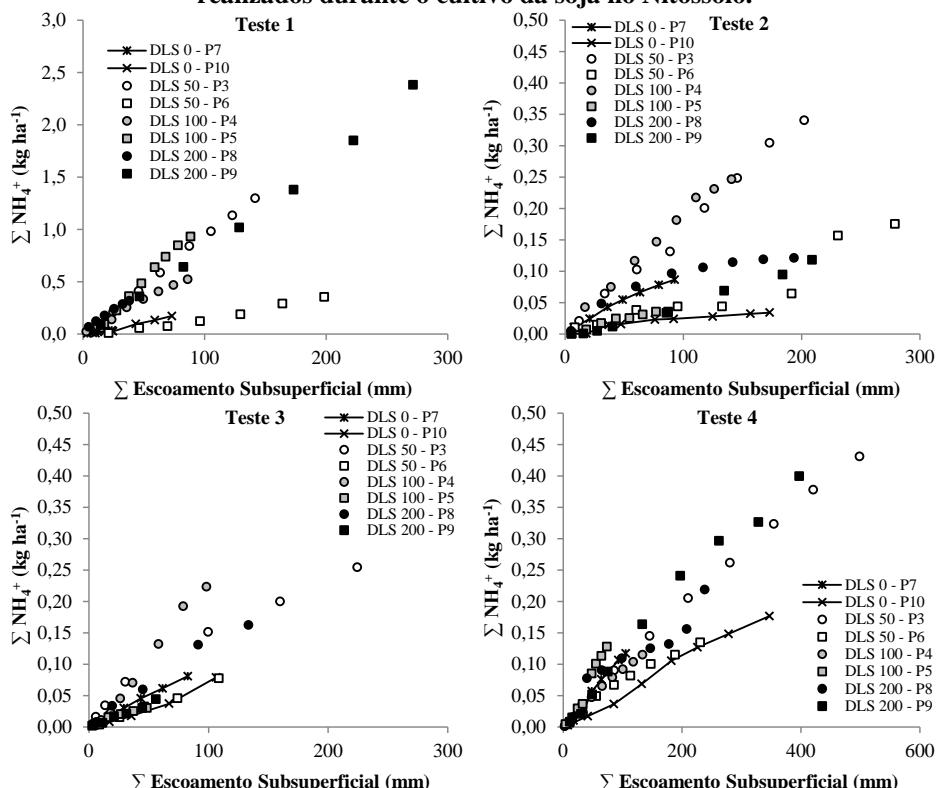
Nos gráficos das Figuras 58 até 62 (Nitossolo) pode-se observar que, para todos os nutrientes, durante o primeiro teste (T1) de chuva simulada, as curvas de massa de nutrientes transportados das parcelas que receberam DLS (P3, P6, P4, P5, P8 e P9) estão acima das curvas das parcelas P7 e P10 que não receberam dejeto (DLS 0), com exceção da parcela P6 (DLS 50) para NH_4^+ . A partir do segundo (T2) e terceiro teste (T3) de chuva simulada as curvas das parcelas tenderam a se igualar e no quarto teste (T4) não foi mais possível constatar diferença clara entre as curvas de massa transportada, para todos os nutrientes.

Figura 58 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₃⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



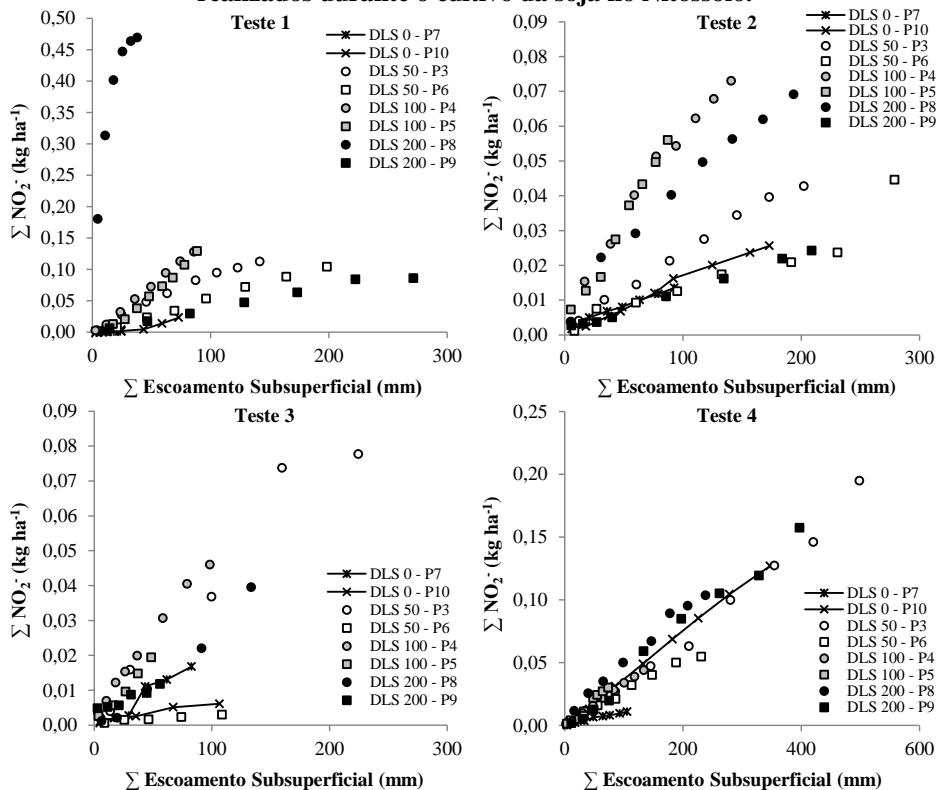
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 59 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH₄⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



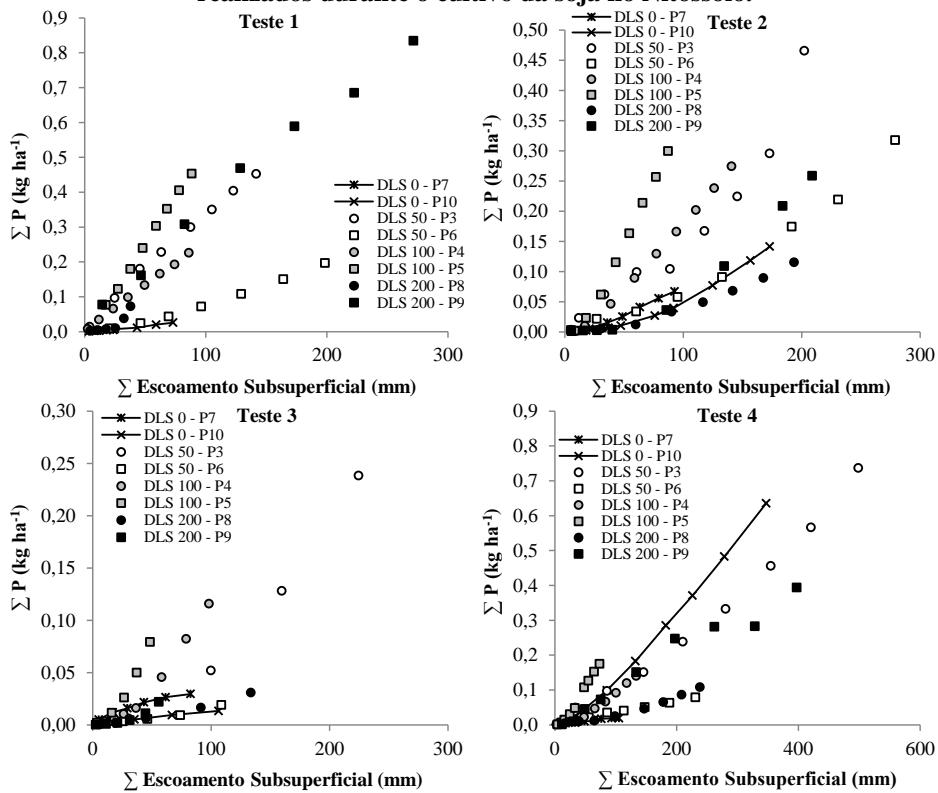
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 60 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₂⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



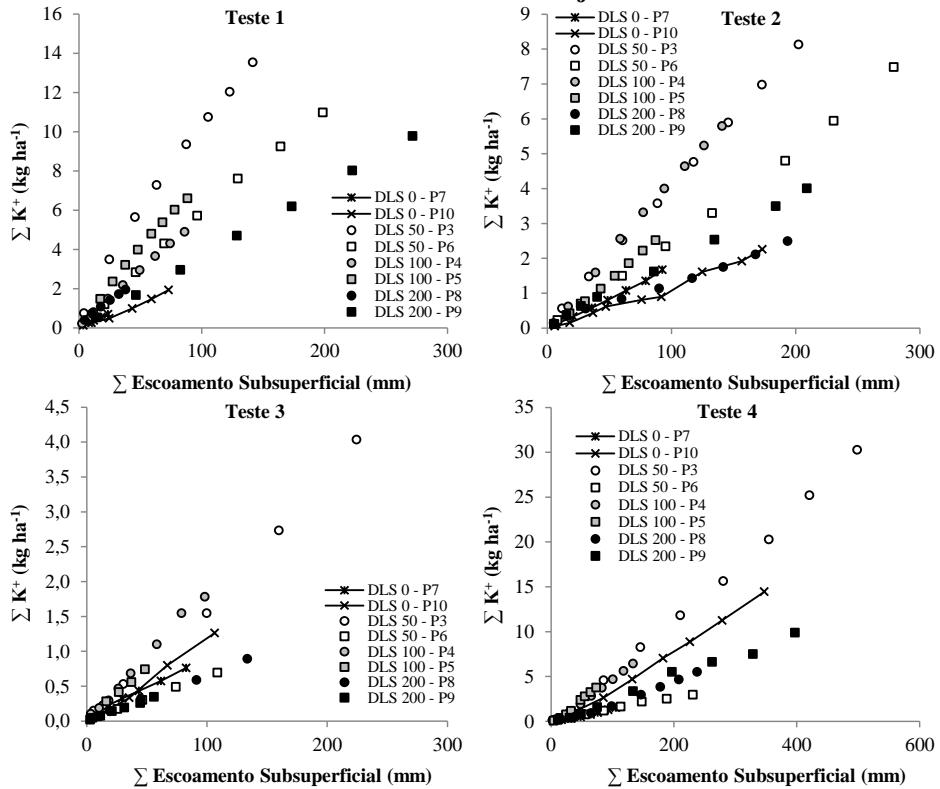
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 61 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



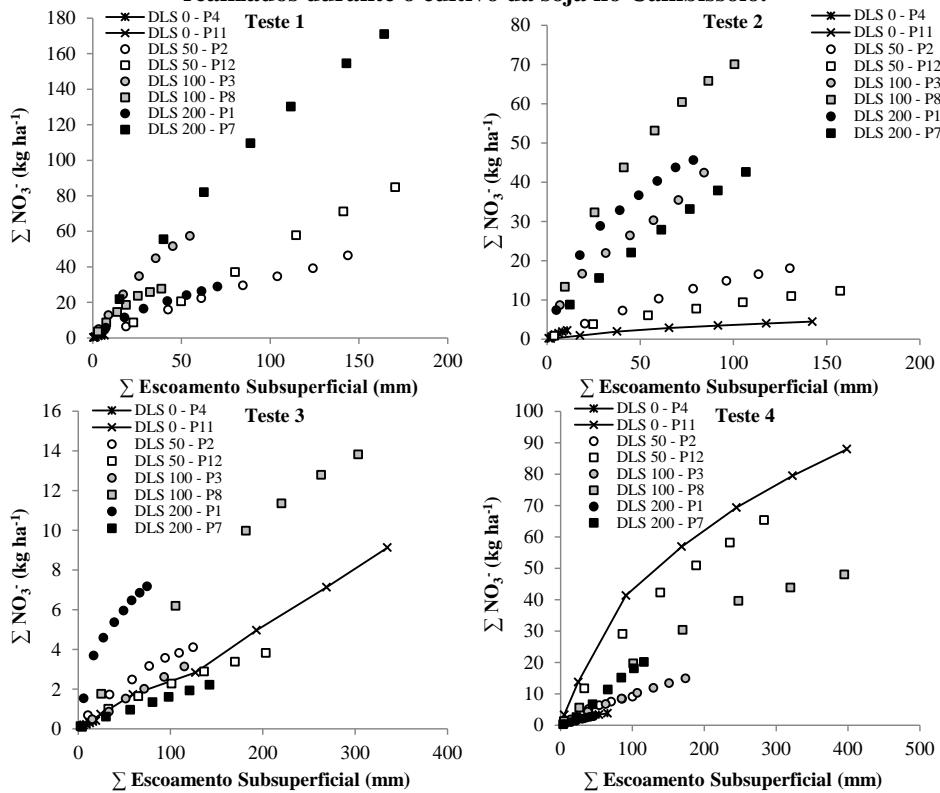
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 62 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de K⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



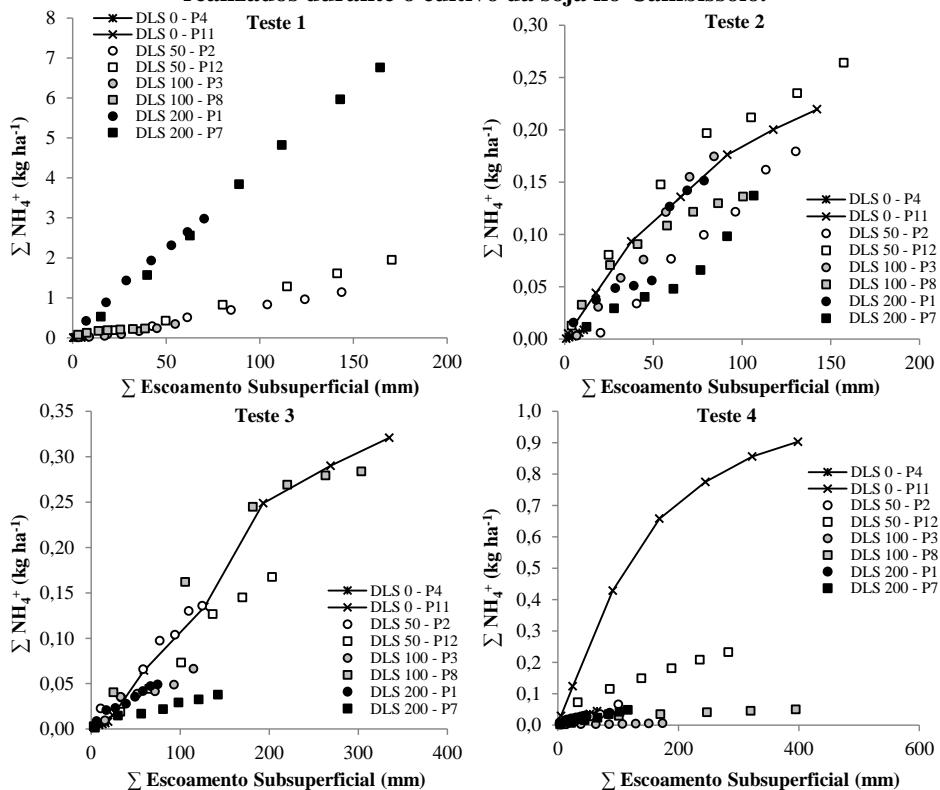
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 63 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₃⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



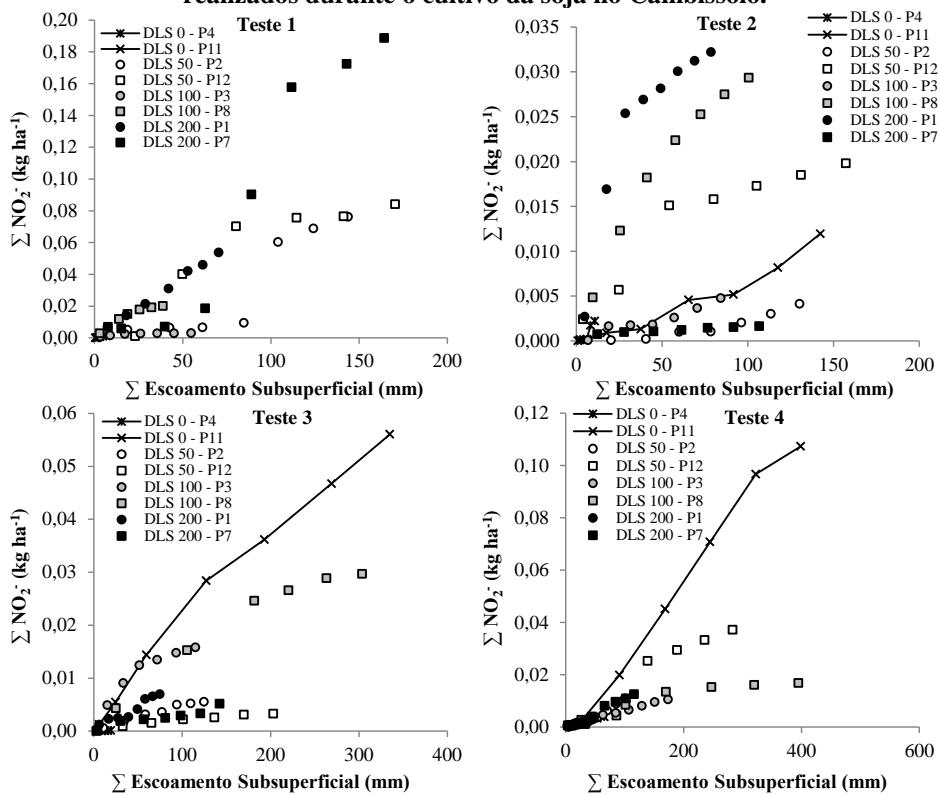
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 64 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NH₄⁺ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 65 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na relação entre massa acumulada (Σ) de NO₂⁻ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 66 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa acumulada (Σ) de P e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.

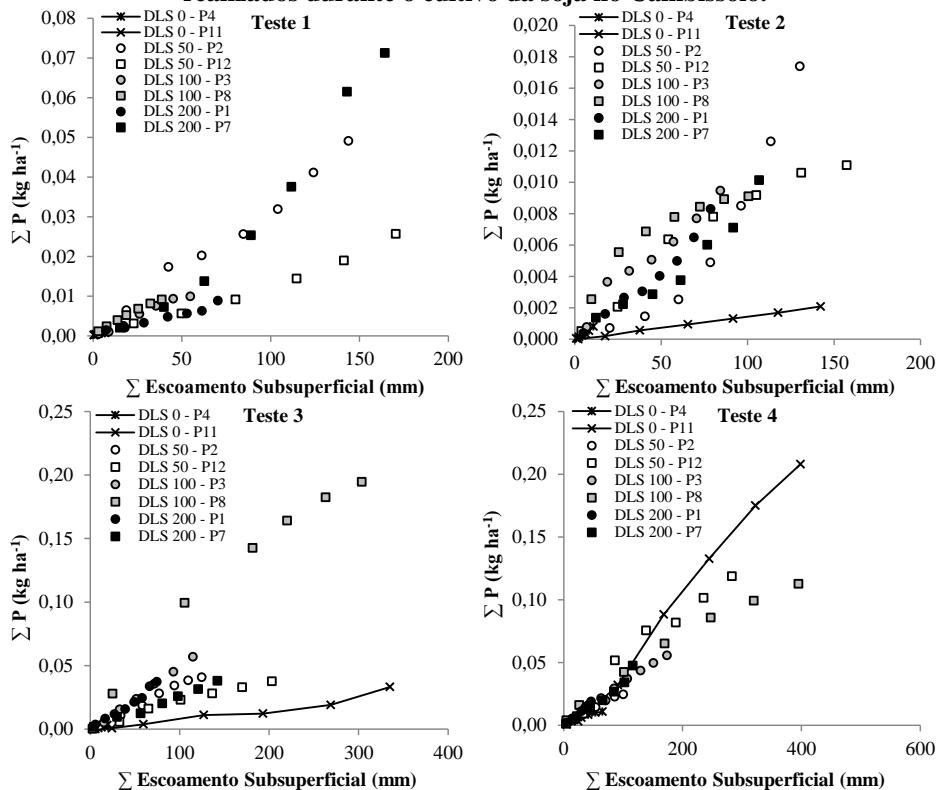
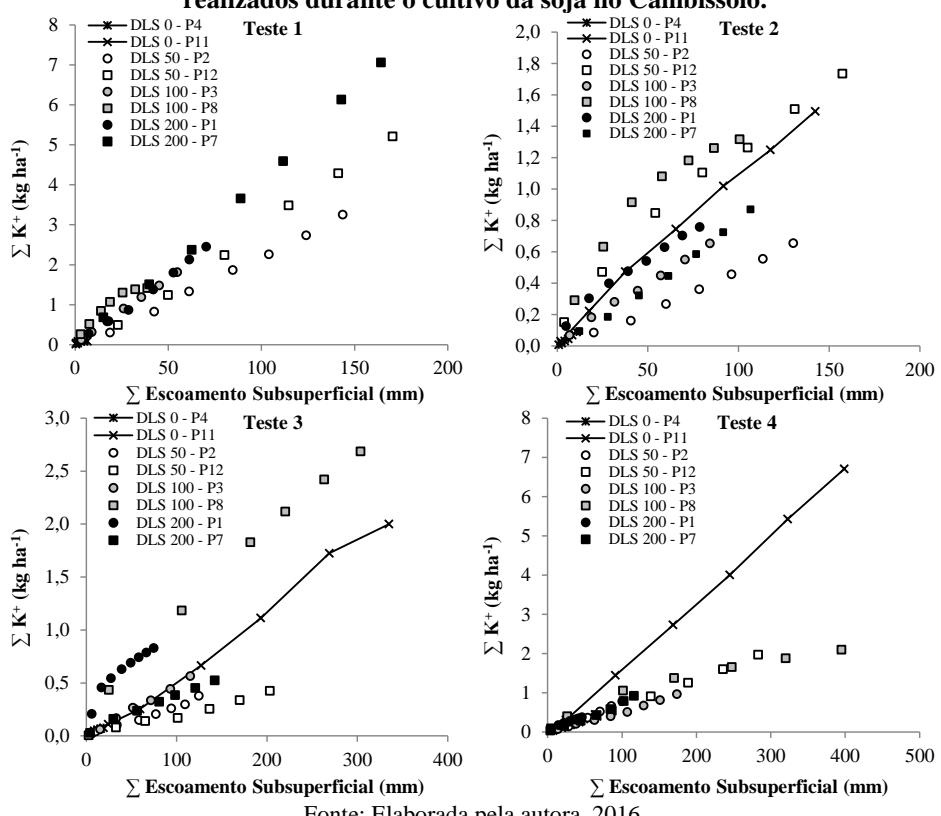


Figura 67 - Influência de doses de DLS ($0, 50, 100$ e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) na relação entre massa acumulada (Σ) de K^+ e escoamento subsuperficial acumulado (Σ) em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.

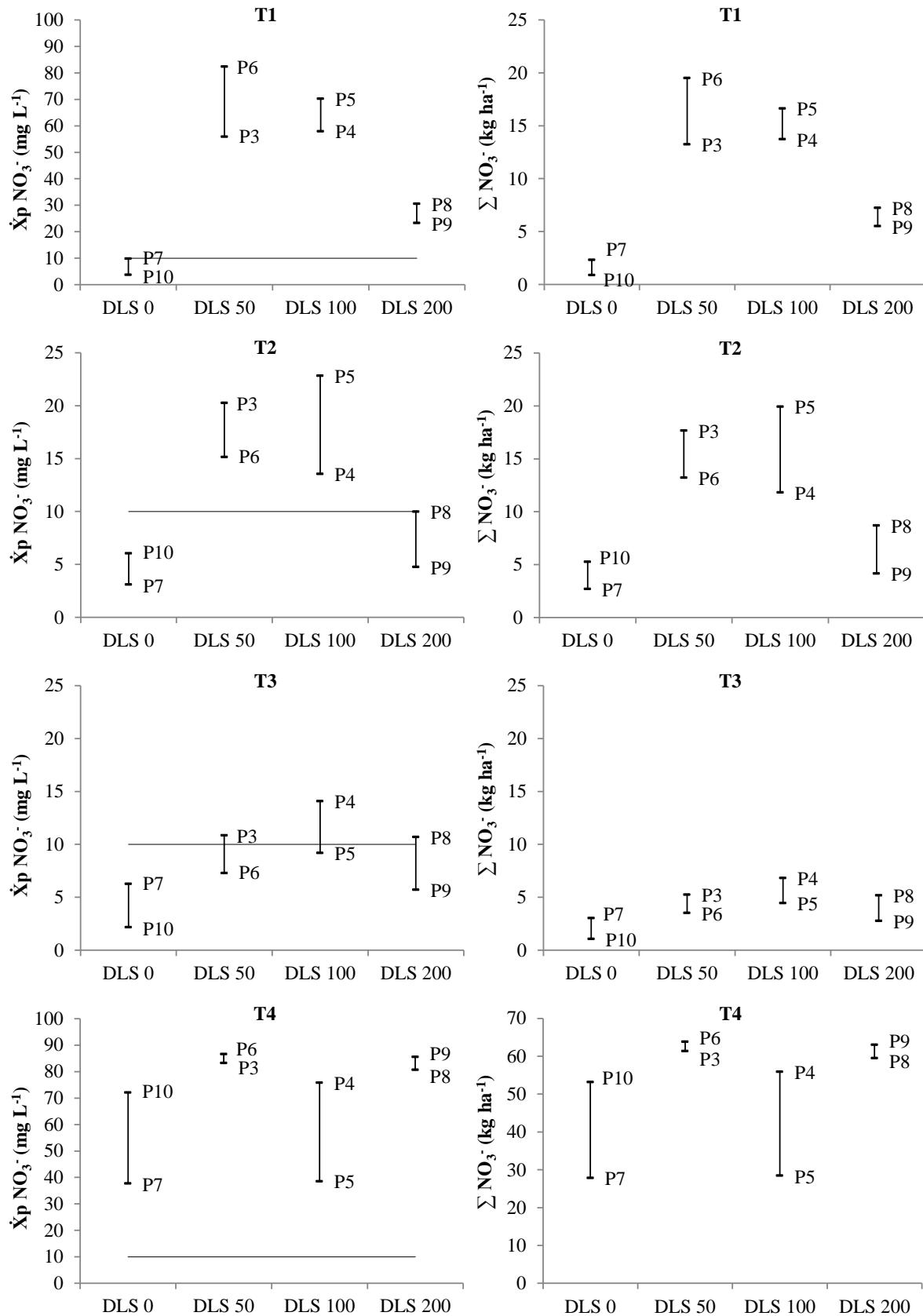


As Figuras 63 até 67 mostram um comportamento ligeiramente diferente para a massa dos nutrientes transportados pelo escoamento subsuperficial do Cambissolo. Durante o primeiro teste (T1) de chuva simulada, no entanto, não houve exceção, todas as curvas de massa de nutrientes transportados das parcelas que receberam DLS (P2, P12, P3, P8, P1 e P7) estão acima das curvas das parcelas (P4 e P11) que não receberam dejeto (DLS 0). Além disso, para o NH_4^+ e o K^+ , a partir do segundo teste (T2) de chuva simulada já não foi mais possível perceber clara diferença entre as curvas de massa de nutrientes transportados das parcelas. Para NO_2^- , no entanto, isso aconteceu a partir do terceiro teste (T3) e para NO_3^- e P isso foi constatado claramente apenas no último teste (T4) de chuva.

Assim sendo, nos dois solos, no primeiro teste (T1) se observa uma diferença nítida entre as parcelas na massa dos nutrientes no escoamento subsuperficial, mas com a realização dos testes de chuva subsequentes (T2, T3 e T4) a massa dos nutrientes foi se assemelhando entre as parcelas, até nenhum efeito ser percebido da aplicação do DLS. No entanto, a semelhança entre as curvas das parcelas demorou mais tempo a ser alcançada no Nitossolo do que no Cambissolo. Esses resultados podem ser verificados mais claramente ao se observar os gráficos das Figuras 68 até 72 (Nitossolo) e Figuras 73 até 77 (Cambissolo), nos quais está a massa total transportada de cada nutriente, por parcela e por teste de chuva simulada. Nas mesmas Figuras, comparando os gráficos de massa total com os de concentração média, é perceptível que, para todos os nutrientes, a massa total transportada seguiu o comportamento da concentração média, em todas as parcelas.

Tanto a concentração média como a massa total de todos os nutrientes no escoamento subsuperficial, em todas as parcelas de ambos os solos (Figuras 68 até 72 e Figuras 73 até 77), foi mais elevada no primeiro teste (T1) de chuva simulada, apresentando tendência de diminuição nos testes subsequentes, T2 e T3. No teste T4 a concentração média e massa total de quase todos os nutrientes, em quase todas as parcelas dos dois solos, aumentou em relação aos valores verificados no teste T3. Isso é explicado pelo efeito da decomposição dos resíduos vegetais de aveia e nabo forrageiro, bem como, das folhas de soja existentes na superfície do solo. Certamente, a mineralização da matéria orgânica decorrente desse material contribuiu para esse aumento. Outro fator que pode ter influenciado o aumento da massa total dos nutrientes no teste T4 é o fato do escoamento subsuperficial ter aumentado também nesse teste, em todas as parcelas do Nitossolo (Figura 55) e em praticamente todas as parcelas do Cambissolo (Figura 56). Porém, o aumento do escoamento subsuperficial no último teste (T4) de chuva se evidenciou pelo fato deste ter sido menor no terceiro teste (T3), já que naquela ocasião os solos continham menor teor de água (Tabela 8).

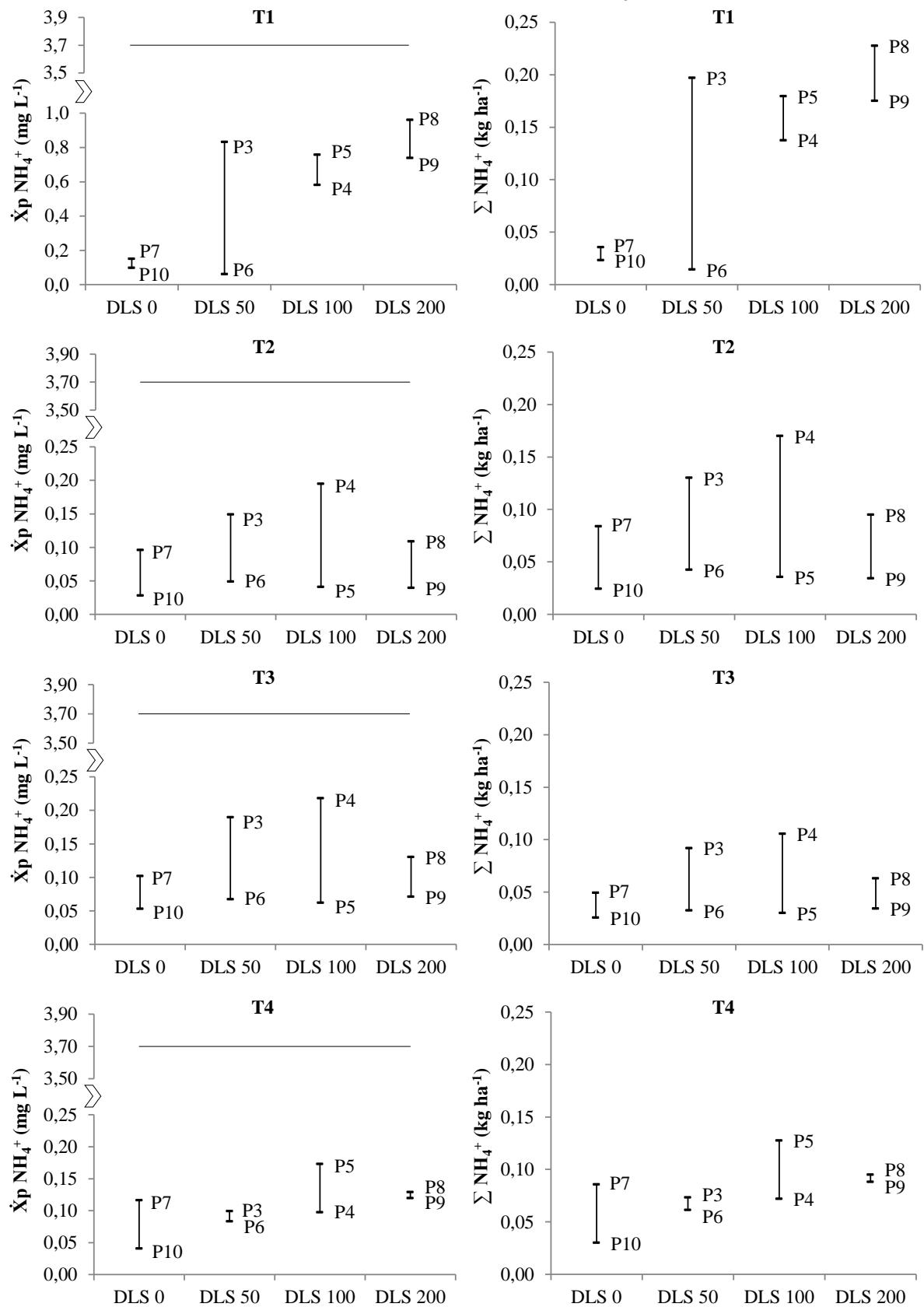
Figura 68 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

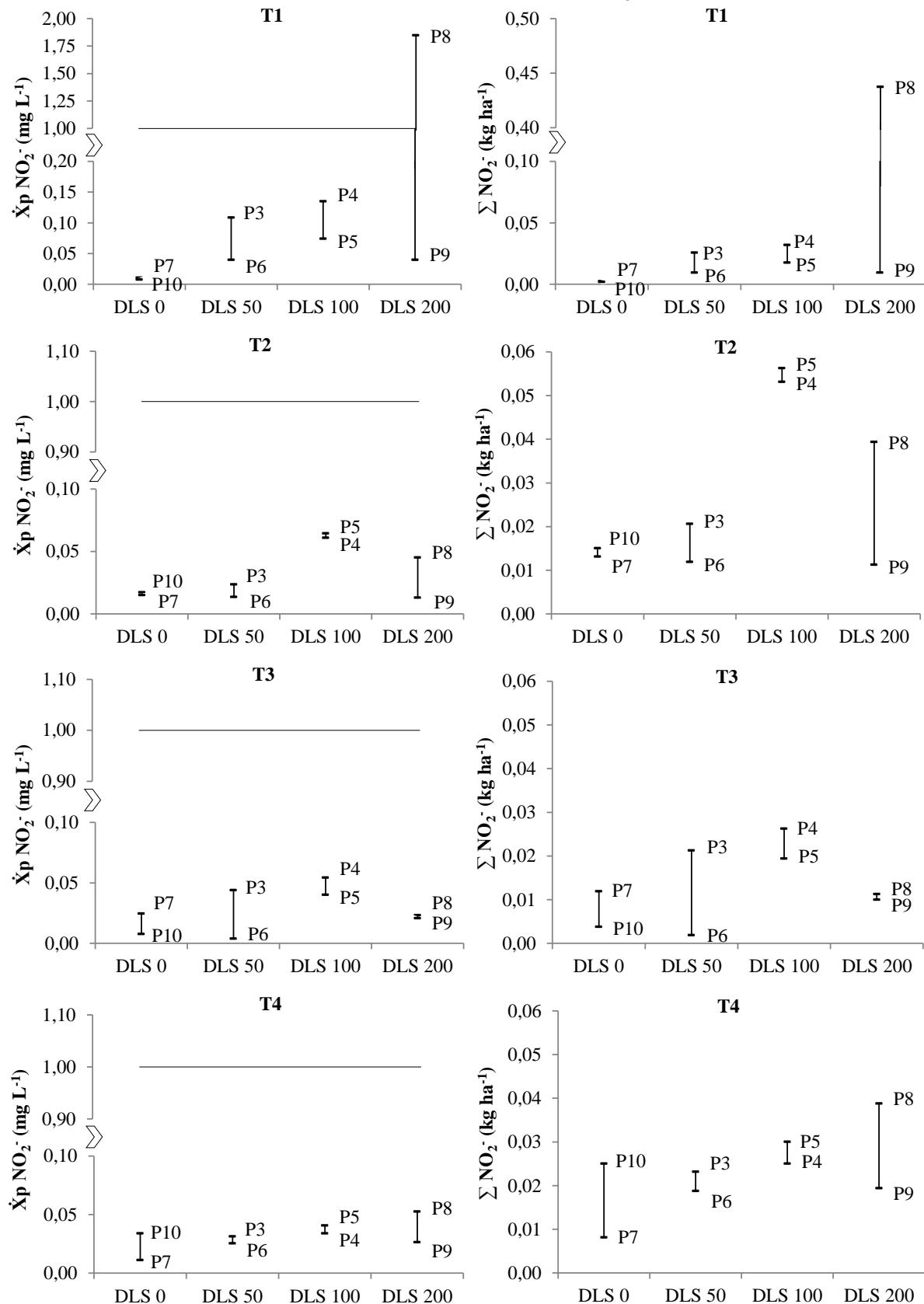
Figura 69 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 3,7 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

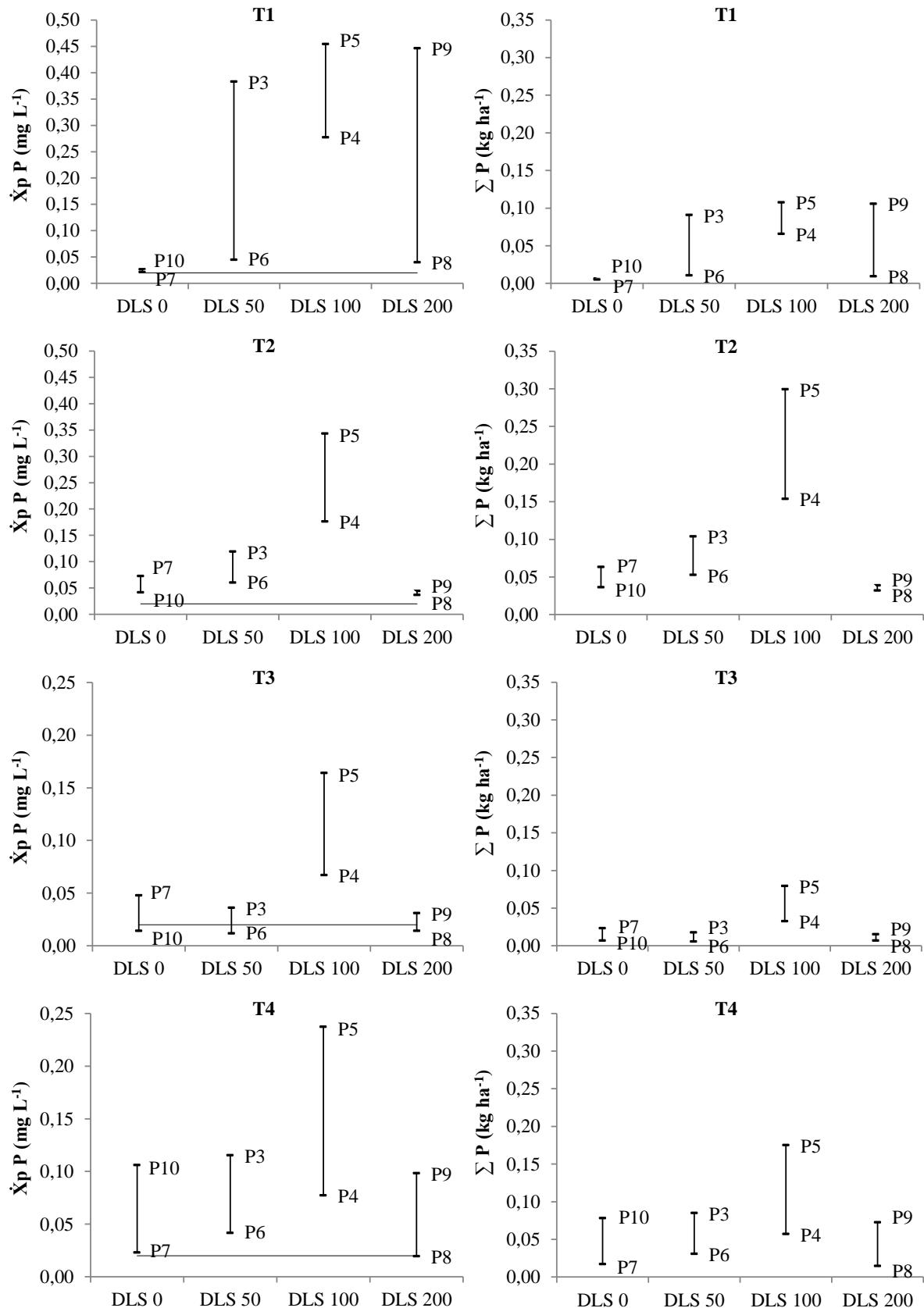
Figura 70 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₂⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

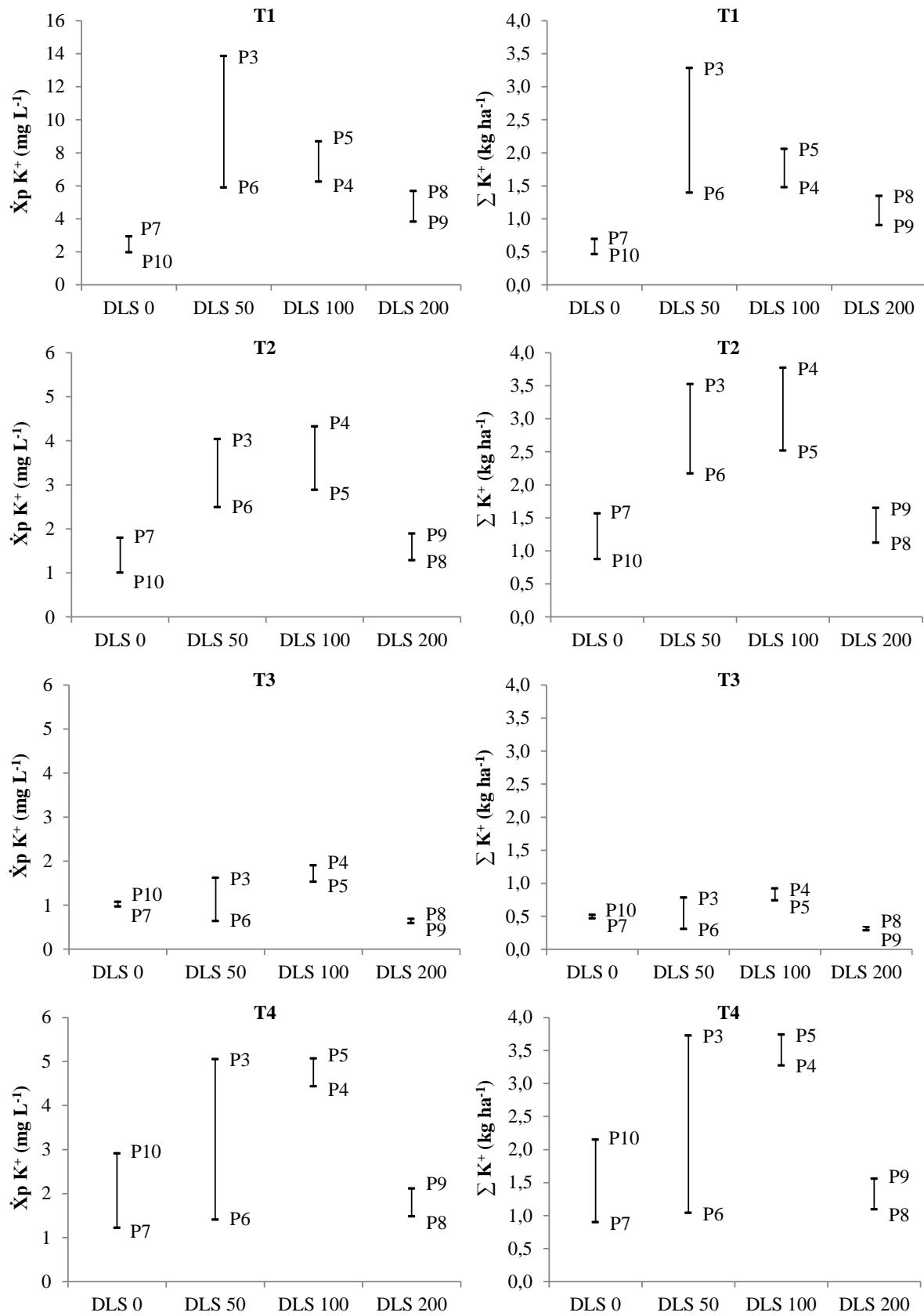
Figura 71 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}P$) padronizada e massa total (ΣP) padronizada de P no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 0,02 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

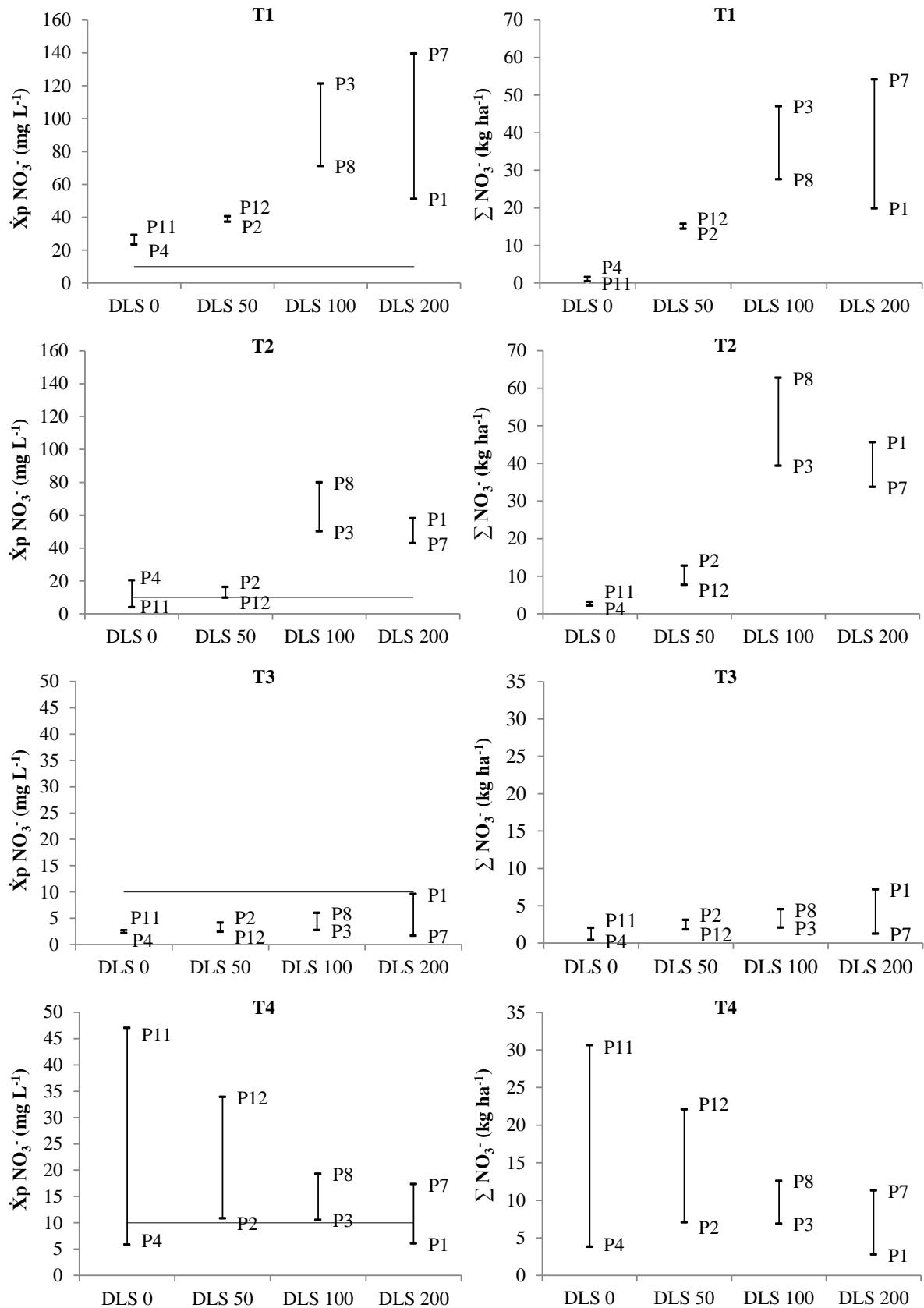
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 72 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

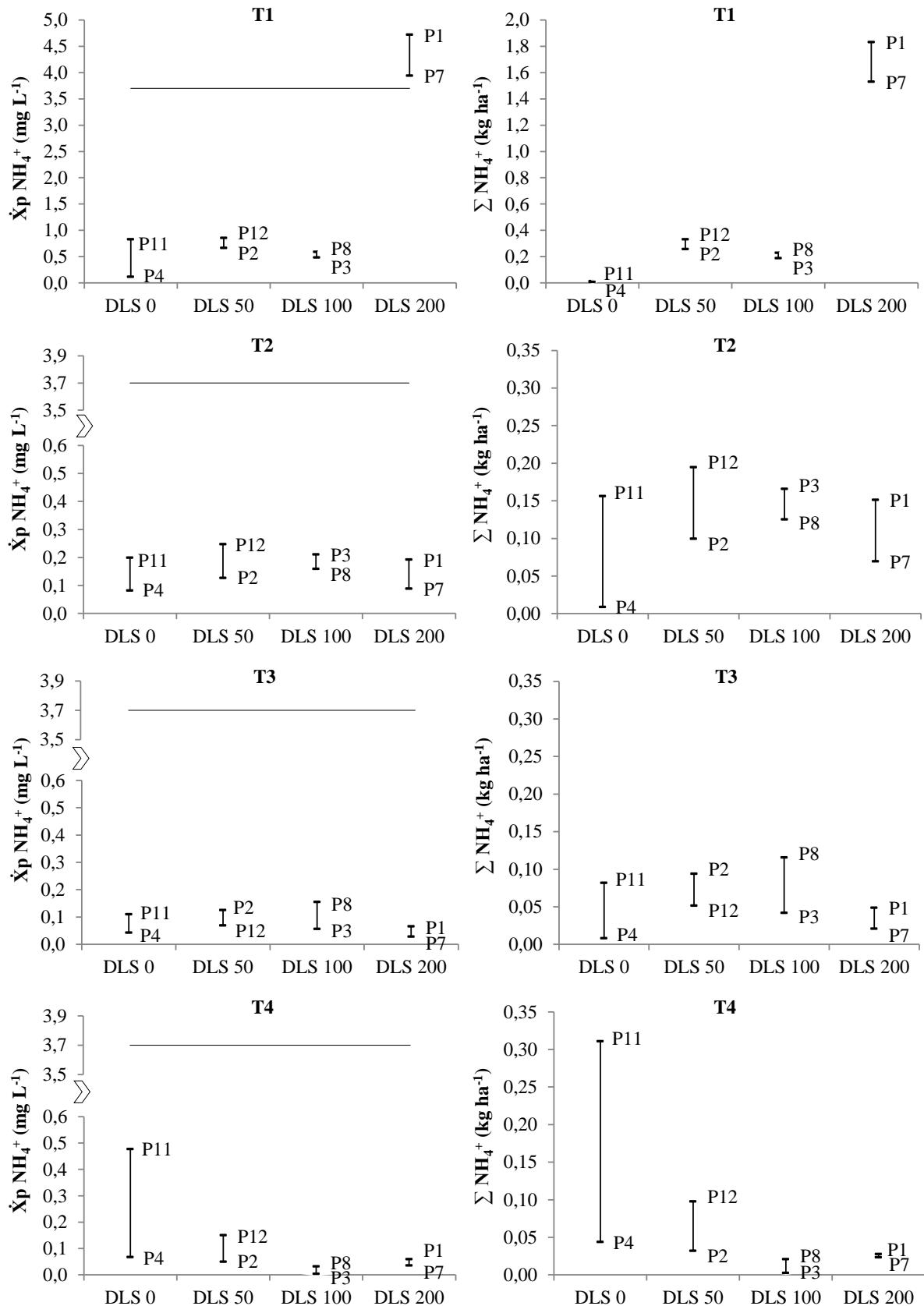
Figura 73 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

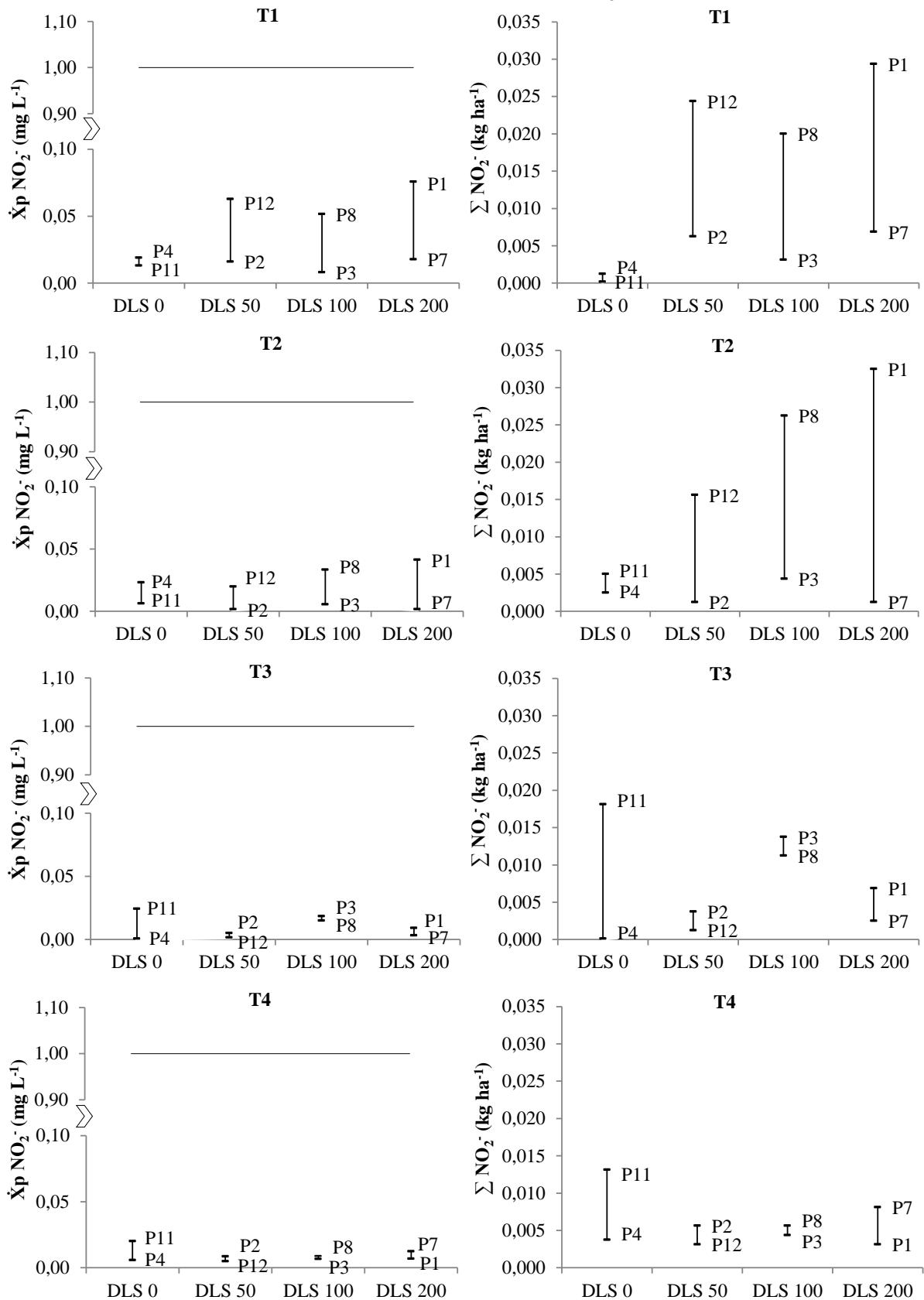
Figura 74 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}p$) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NH₄⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 3,7 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 75 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO_2^- no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 76 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média ($\bar{X}p$) padronizada e massa total (ΣP) padronizada de P no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambíssolo.

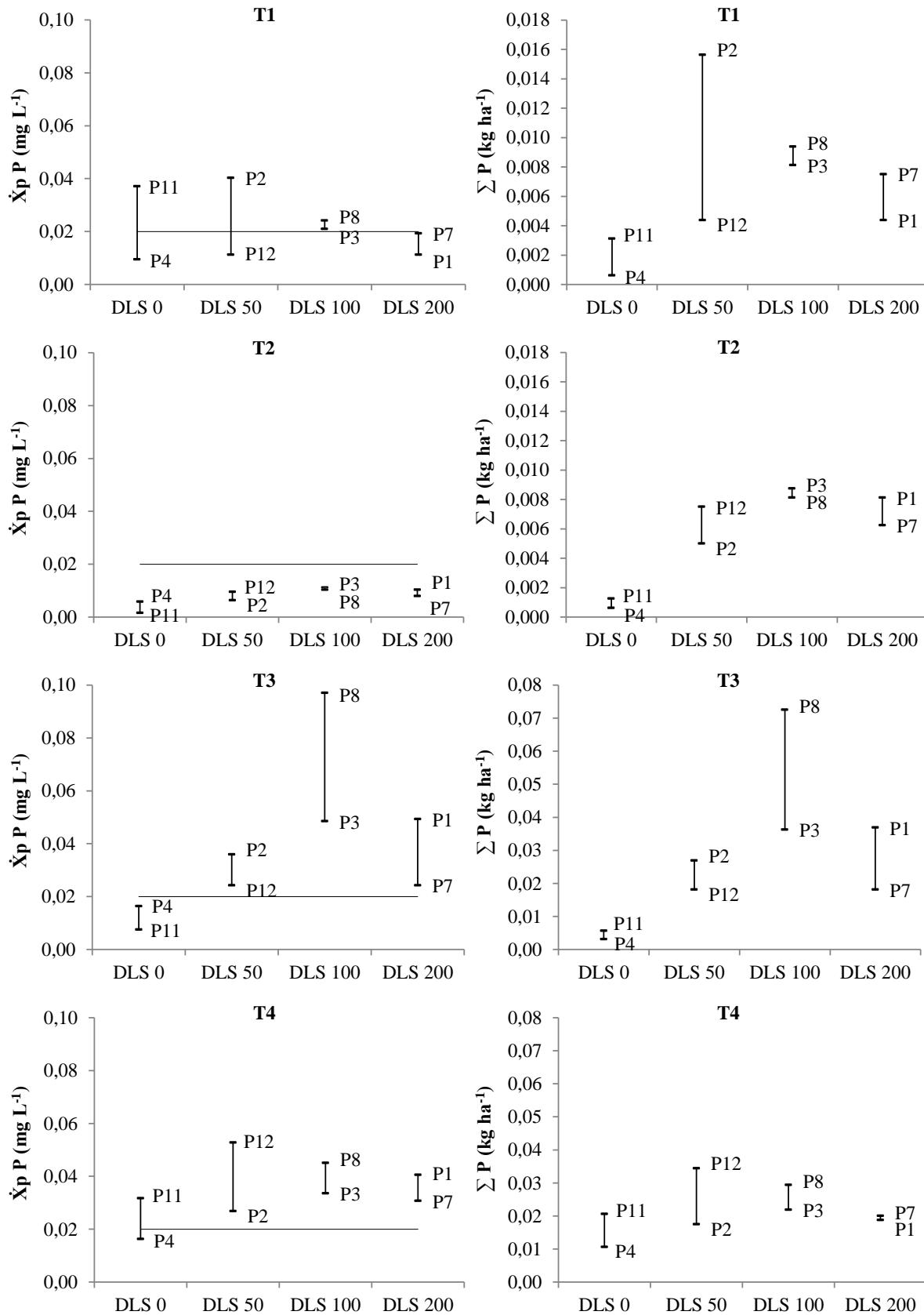
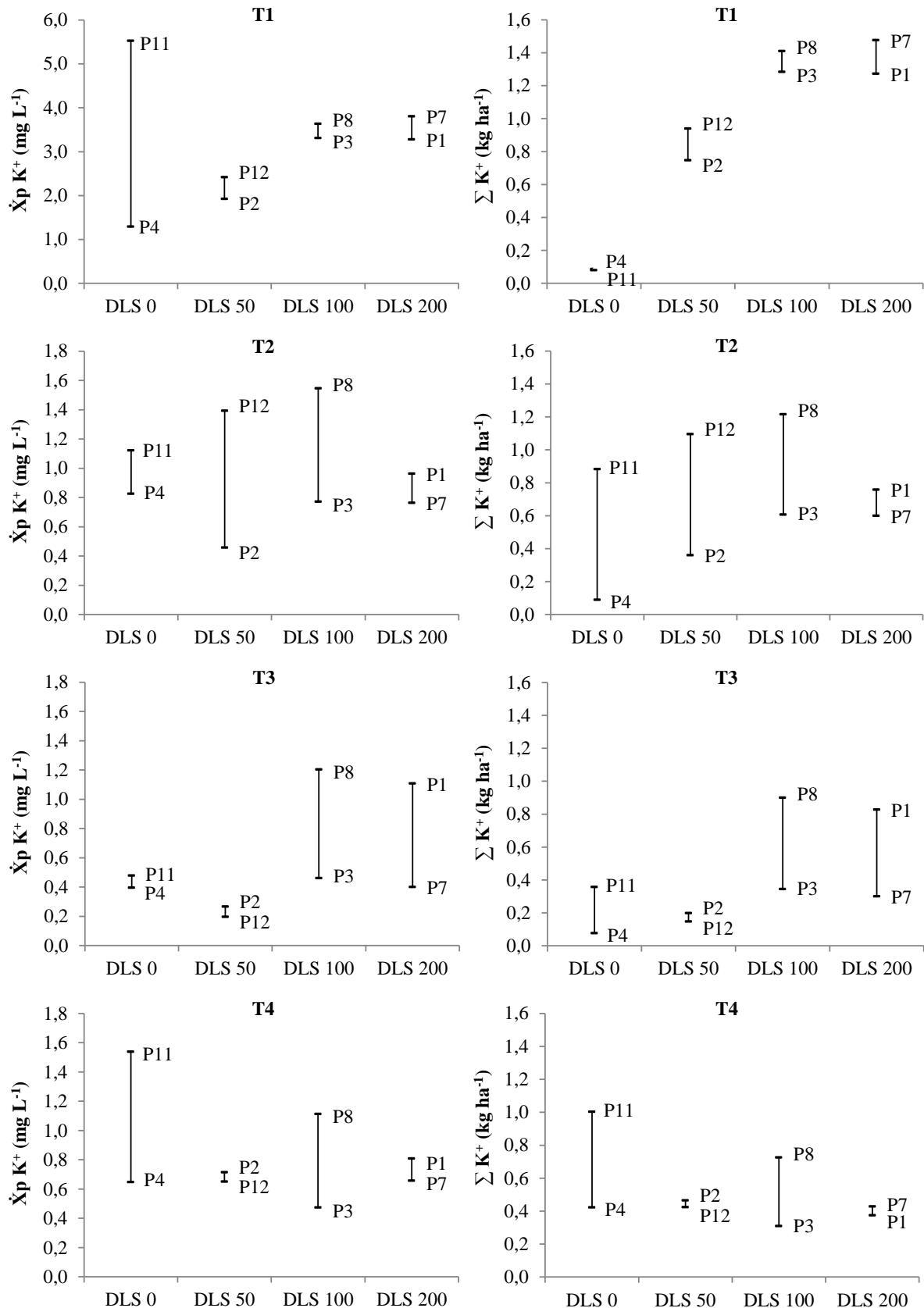


Figura 77 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de K⁺ no escoamento subsuperficial em quatro testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Comparando as concentrações médias dos nutrientes no escoamento subsuperficial (Figuras 68 até 72 do Nitossolo e Figuras 73 até 77 do Cambissolo), com os valores estabelecidos como limite máximo pela resolução CONAMA 357 de 2005, nota-se que, as concentrações de NO_3^- foram superiores ao limite máximo de 10 mg L^{-1} em todas as parcelas (P3, P6, P4, P5, P8 e P9) que receberem DLS no primeiro teste de chuva (T1), nas parcelas P3, P6 (DLS 50), P4 e P5 (DLS 100) do teste T2, nas parcelas P3 (DLS 50), P4 (DLS 100) e P8 (DLS 200) do teste T3 e em todas as parcelas do teste T4, realizados sobre o Nitossolo (Figura 68). No Cambissolo (Figura 73) as concentrações de NO_3^- ficaram acima do limite em todas as parcelas (P4, P11, P2, P12, P3, P8, P1 e P7) durante o teste T1, nas parcelas P4 (DLS 0), P2 (DLS 50), P3 e P8 (DLS 100) e nas parcelas P1 e P7 (DLS 200) durante o teste T2 e em todas as parcelas durante o teste T4, com exceção de P4 e P1.

As concentrações de NH_4^+ não ultrapassaram o limite máximo de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ (valor mais restritivo) estabelecido pela resolução em todas as parcelas e testes de chuva do Nitossolo (Figura 69). Já no Cambissolo, esse limite máximo foi ultrapassado no primeiro teste (T1) de chuva, nas parcelas P1 e P7 do tratamento DLS 200 (Figura 74).

Para NO_2^- , as concentrações permaneceram abaixo do limite máximo de 1 mg L^{-1} em todas as parcelas e em todos os testes de chuva simulada realizados em ambos os solos (Figura 70 e 75), exceto na parcela P8 durante o primeiro teste (T1) realizado sobre o Nitossolo.

Em relação ao P, a concentração limite de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ (valor mais restritivo) foi superada em todos os testes de chuva simulada e em todas as parcelas no Nitossolo (Figura 71), exceto nas parcelas P10 (DLS 0), P6 (DLS 50) e P8 (DLS 200) durante o teste T3. No Cambissolo (Figura 76), a concentração limite de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ para o P foi superada nas parcelas P11 (DLS 0), P2 (DLS 50), P3 e P8 (DLS 100) durante o teste T1, em todas as parcelas (P2, P12, P3, P8, P1 e P7) que receberam alguma dose de DLS durante o teste T3 e em todas as parcelas durante o teste T4, exceto na parcela P4 (DLS 0).

A aplicação de DLS como fertilizante no solo, desse modo, elevou as concentrações dos nutrientes, NO_2^- , NO_3^- e P, no escoamento subsuperficial do Nitossolo e dos nutrientes, NO_3^- , NH_4^+ e P nesse escoamento do Cambissolo, ao ponto de ultrapassar os limites máximos permitidos pela legislação brasileira. Isso poderá causar poluição das águas superficiais ou subterrâneas, caso estas sejam atingidas pelo fluxo subsuperficial contendo estes nutrientes nessas concentrações. Sacomori et al. (2016) observaram que a concentração de NO_3^- em percolado coletado com lisímetros de sucção instalados à 0,4 e 0,8 m de profundidade em um

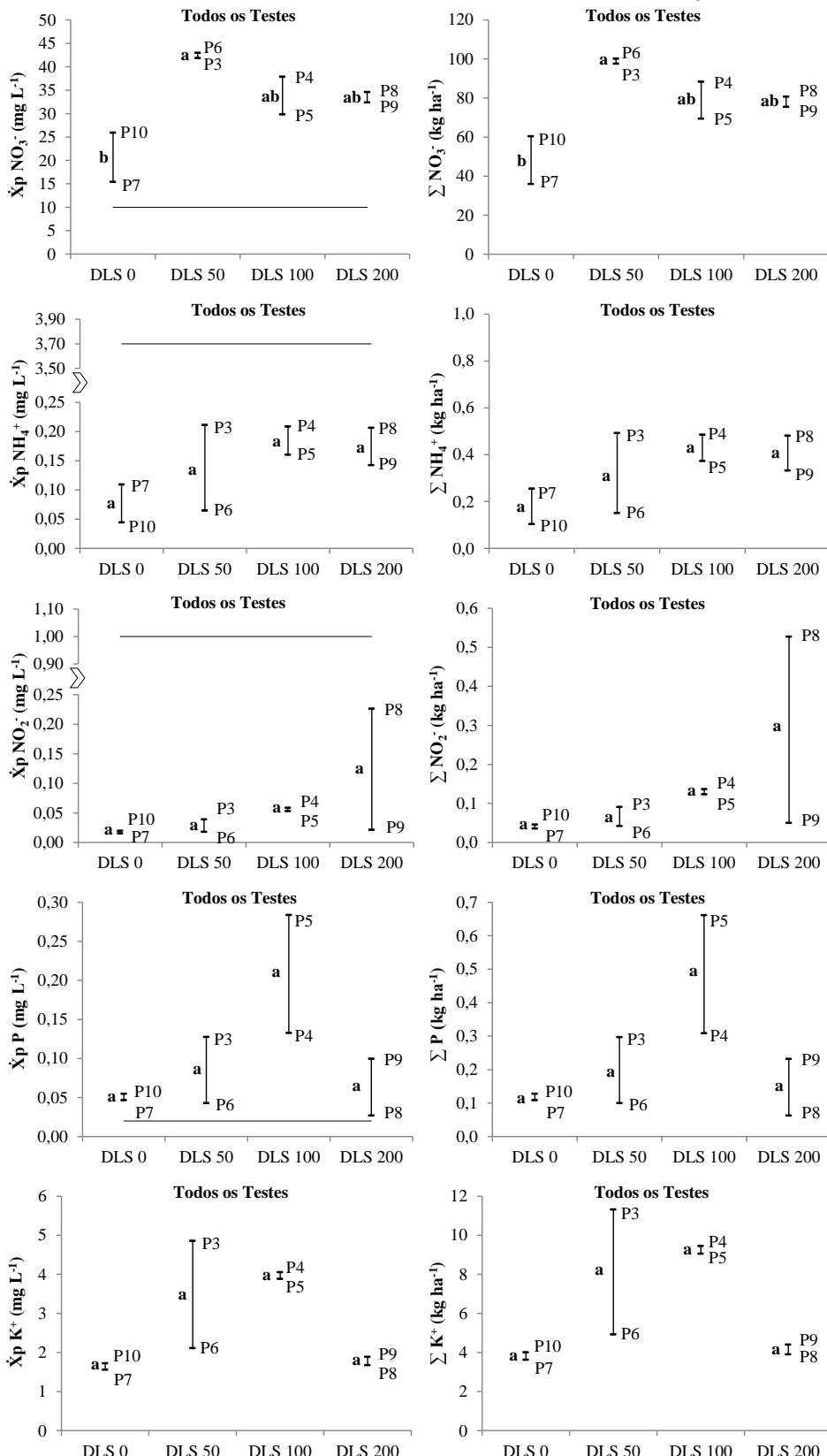
Latossolo Vermelho distroférico foi expressivamente maior na dose mais alta de DLS ($200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$), superando o valor de referência de 10 mg L^{-1} .

As Figuras 78 (Nitossolo) e 79 (Cambissolo) mostram, de maneira geral, que a massa e a concentração de NO_2^- , de P e de K^+ foram maiores no escoamento subsuperficial do Nitossolo, enquanto, o NH_4^+ apresentou maior massa e concentração no escoamento subsuperficial do Cambissolo e o NO_3^- foi praticamente igual no escoamento de ambos os solos. Isso ocorreu porque todos os nutrientes estão em maior massa no Nitossolo (Figuras 10 e 11).

Independentemente do solo e do tratamento, o nutriente com maior concentração média no escoamento e com maior massa total transportada pelo escoamento subsuperficial foi o NO_3^- , seguido por K^+ , NH_4^+ , P e NO_2^- . Essa mesma observação já havia sido feita nos resultados referentes ao escoamento superficial. Apesar de o DLS conter mais K^+ em sua fração líquida e sólida (Tabela 5), as concentrações desse nutriente nos escoamentos foram menores quando comparadas as concentrações de NO_3^- . Provavelmente isso seja uma demonstração, de um lado, da maior mobilidade do NO_3^- no solo e, de outro, da transformação de NH_4^+ à forma nítrica. Essa transformação ocorre em razão do solo ser bem drenado, com predomínio de condições aeróbias, onde o NH_4^+ é oxidado a NO_3^- pelo processo de nitrificação (SACOMORI et al., 2016).

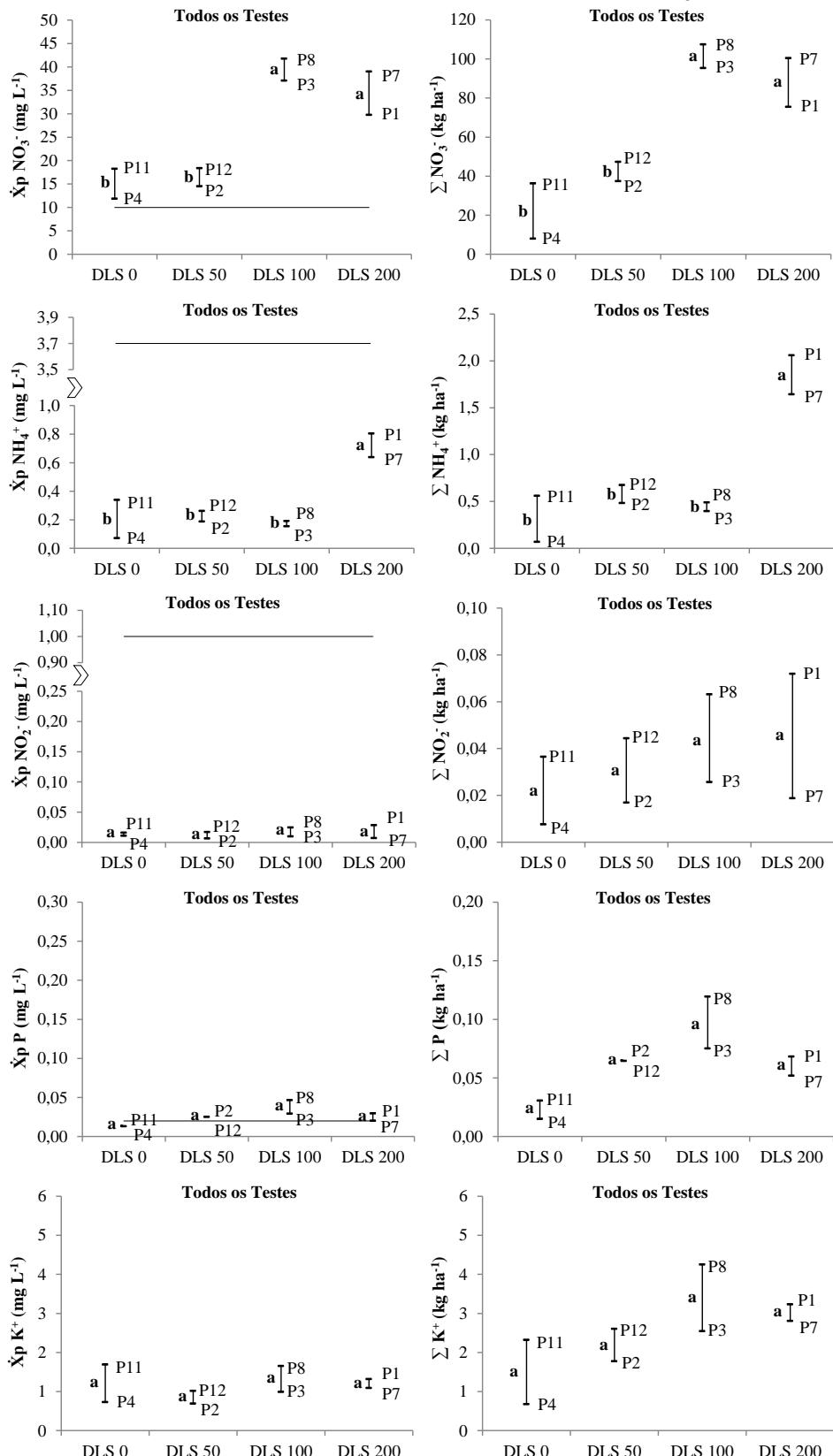
Pelo exposto, é possível afirmar que, em relação à massa total dos nutrientes, bem como, em relação às suas concentrações médias no escoamento subsuperficial do Nitossolo e do Cambissolo, houve efeito do DLS no primeiro teste (T1) e em alguns casos esse efeito foi percebido ainda nos testes T2 e T3 de chuva simulada, principalmente no Nitossolo. No teste T4 não mais foi percebido efeito das doses de DLS. Além disso, no teste T1 existiu uma tendência, porém não tão clara como ficou no escoamento superficial, de aumento da massa e da concentração de todos os nutrientes avaliados de acordo com o aumento da dose de DLS, tanto no Nitossolo como no Cambissolo. Sacomori et al. (2016) observaram que as concentrações de K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} na solução do solo coletada à 0,4 e 0,8 m de profundidade aumentaram com as doses de DLS (0, 50, 200 e $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$). Enquanto que o Mg^{+2} e N no percolado de lisímetros de drenagem não sofreram influência da aplicação de dejeto suíno (0, 100, 200 e $300\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$), as concentrações de K^+ , P e Ca^{+2} no percolado aumentaram conforme o aumento da dose de dejeto (MAGGI et al., 2011). Não houve diferença entre as quantidades de NH_4^+ e NO_3^- no percolado de lisímetros de drenagem em função das adubações de 25 e $100\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ de DLS, e 370 kg ha^{-1} de adubo mineral (SANTOS et al., 2015).

Figura 78 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K⁺ no escoamento subsuperficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Nitossolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10; 3,7; 1,0 e 0,02 mg L⁻¹ estabelecido, respectivamente, para NO_3^- ; NH_4^+ ; NO_2^- e P, pela resolução 357 do CONAMA. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

Figura 79 - Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na concentração média (\bar{X}_p) padronizada e massa total (Σ) padronizada de NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, P e K⁺ no escoamento subsuperficial de todos os testes de chuva simulada (T1, T2, T3 e T4) realizados durante o cultivo da soja no Cambissolo.



A linha refere-se ao limite máximo de 10; 3,7; 1,0 e 0,02 mg L⁻¹ estabelecido, respectivamente, para NO₃⁻; NH₄⁺; NO₂⁻ e P, pela resolução 357 do CONAMA. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A concentração média e massa total do nutriente NO_3^- no escoamento subsuperficial do Nitossolo e dos nutrientes NO_3^- e NH_4^+ no escoamento subsuperficial do Cambissolo, considerando todos os testes de chuva (Figura 78 e 79), apresentaram diferença estatística entre os tratamentos. No Nitossolo, a concentração e massa de NO_3^- no escoamento subsuperficial do tratamento DLS 50 se mostrou estatisticamente diferente da observada no tratamento DLS 0. No Cambissolo, a concentração e massa de NO_3^- no escoamento subsuperficial dos tratamentos DLS 100 e DLS 200 foram estatisticamente diferentes da observada nos tratamentos DLS 0 e DLS 50. Quanto ao NH_4^+ , sua concentração e massa no escoamento subsuperficial do tratamento DLS 200 diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

Por fim, cabe ser salientado que a concentração de todos os nutrientes foi maior no escoamento superficial, com exceção do NO_3^- , que apresentou concentração maior no escoamento subsuperficial do Nitossolo (Figuras 51 e 78) e do Cambissolo (Figuras 52 e 79). Isso se justifica pelo fato de íons de nitrato não serem retidos no solo por apresentarem carga negativa e o solo também apresentar carga líquida negativa (JADOSKI et al., 2010). Assim, o nitrato permanece na solução do solo, principalmente nas camadas superficiais, nas quais a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo da fase sólida (repelindo o nitrato) (RESENDE et al., 2002). Na solução do solo, o nitrato pode ser lixiviado em maior ou menor grau em função da percolação da água no perfil, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície (JADOSKI et al., 2010).

6.6 ENTRADA DE N, P E K VIA DLS E SAÍDA VIA ESCOAMENTOS

Na Tabela 11, para Nitossolo, e na Tabela 12, para Cambissolo, é apresentada a massa total de N, P e K que foi adicionada em cada solo via DLS e a massa total que foi transportada pelo escoamento superficial e escoamento subsuperficial.

A quantidade dos nutrientes adicionados no solo via DLS seguiu a seguinte ordem, $K < P < N$, tanto no Nitossolo (Tabela 11) como no Cambissolo (Tabela 12). Em relação aos escoamentos, tanto no Nitossolo como no Cambissolo, a espécie química transportada em maior quantidade foi o N e sua principal saída foi pelo escoamento subsuperficial, exceto na parcela P4 do Cambissolo. O N foi o nutriente transportado em maior quantidade pelo escoamento subsuperficial, explicado pelo fato desse elemento se encontrar, principalmente, na forma de NO_3^- no solo. A N na forma NO_3^- , por ter carga negativa, igual a do solo, não se

liga aos colóides, ficando disponível na solução e podendo sofrer facilmente processo de lixiviação.

Tabela 11 – Entrada de N, P e K via DLS e saída de N, P e K via escoamento superficial e escoamento subsuperficial no Nitossolo.

		Nitossolo										
Tratamento	Parcela	DLS (kg ha ⁻¹)	Escoamento Superficial (kg ha ⁻¹)					Escoamento Subsuperficial (kg ha ⁻¹)				
			T1	T2	T3	T4	Total	T1	T2	T3	T4	Total
N												
DLS 0	P7	0,0	0,42	0,06	0,06	0,76	1,3	0,55	0,70	1,20	7,08	10
	P10	0,0	0,27	0,05	0,04	0,76	1,1	0,57	1,61	0,60	28,73	32
DLS 50	P3	1,4	1,68	0,17	0,06	0,65	2,6	12,31	5,67	2,99	39,82	61
	P6	1,4	0,74	0,14	0,05	0,57	1,5	20,21	5,13	1,54	24,26	51
DLS 100	P4	2,9	2,06	0,20	0,10	0,62	3,0	7,78	3,32	2,41	15,19	29
	P5	2,9	2,27	0,56	0,18	1,10	4,1	8,75	4,54	1,03	6,52	21
DLS 200	P8	5,8	4,63	0,16	0,05	0,69	5,5	2,71	2,83	2,54	20,47	29
	P9	5,8	1,35	0,06	0,04	0,77	2,2	8,01	1,57	0,79	27,11	37
P												
DLS 0	P7	0,0	0,208	0,060	0,033	0,084	0,38	0,005	0,067	0,030	0,019	0,12
	P10	0,0	0,170	0,072	0,016	0,096	0,35	0,026	0,141	0,013	0,636	0,82
DLS 50	P3	1,7	0,375	0,128	0,023	0,051	0,58	0,452	0,466	0,238	0,736	1,89
	P6	1,7	0,236	0,100	0,018	0,077	0,43	0,197	0,317	0,019	0,078	0,61
DLS 100	P4	3,4	0,547	0,207	0,034	0,052	0,84	0,226	0,274	0,116	0,140	0,76
	P5	3,4	0,521	0,257	0,067	0,159	1,00	0,453	0,299	0,079	0,175	1,01
DLS 200	P8	6,8	0,505	0,090	0,020	0,054	0,67	0,073	0,115	0,031	0,108	0,33
	P9	6,8	0,314	0,038	0,013	0,084	0,45	0,834	0,258	0,022	0,394	1,51
K												
DLS 0	P7	0,0	2,58	0,38	0,23	1,92	5	0,69	1,67	0,76	1,52	5
	P10	0,0	1,53	0,73	0,06	1,36	4	1,94	2,26	1,26	14,45	20
DLS 50	P3	5,2	5,03	1,77	0,26	2,38	9	13,53	8,13	4,03	30,27	56
	P6	5,2	3,67	0,77	0,13	1,74	6	10,98	7,48	0,69	2,95	22
DLS 100	P4	10,4	4,85	1,90	0,20	1,43	8	4,89	5,79	1,78	6,43	19
	P5	10,4	3,65	2,00	0,28	2,79	9	6,60	2,52	0,74	3,74	14
DLS 200	P8	20,8	4,56	0,72	0,11	1,37	7	1,94	2,49	0,89	5,49	11
	P9	20,8	2,18	0,39	0,06	2,21	5	9,78	4,00	0,35	9,88	24

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

O P, por se combinar facilmente com outros elementos, principalmente com Fe e Al, não é facilmente lixiviado, podendo ser transportado por escoamento superficial quando ocorrem perdas de matéria orgânica e partículas minerais coloidais. Embora o P deva ser transportado principalmente pelo escoamento superficial, neste trabalho, nos dois solos, o P foi transportado igualmente pelos escoamentos superficial e subsuperficial.

Quanto ao K, é considerado um elemento móvel e está susceptível ao processo de lixiviação, pois não é facilmente fixado, principalmente, quando o solo apresenta baixa CTC. No Nitossolo o K sofreu, predominantemente, transporte via escoamento subsuperficial, exceto na parcela P7, o que pode ser justificado pelo fato desse solo já conter elevado estoque de K em sua composição, conforme demonstrado na Figura 10. No Cambissolo, em metade das parcelas a principal saída de K foi via escoamento superficial e a outra metade das parcelas a principal saída de K foi via escoamento subsuperficial.

Tabela 12 - Entrada de N, P e K via DLS e saída de N, P e K via escoamento superficial e escoamento subsuperficial no Cambissolo.

Tratamento	Parcela	DLS (kg ha ⁻¹)	Escoamento Superficial (kg ha ⁻¹)					Escoamento Subsuperficial (kg ha ⁻¹)				
			T1	T2	T3	T4	Total	T1	T2	T3	T4	Total
N												
DLS 0	P4	0,0	2,25	0,64	0,14	0,31	3	0,36	0,50	0,10	0,90	2
	P11	0,0	1,63	0,15	0,10	0,18	2	0,10	1,18	2,33	20,60	24
DLS 50	P2	1,9	2,35	0,71	0,11	0,48	4	11,36	4,20	1,03	2,10	19
	P12	1,9	3,47	0,37	0,04	0,22	4	20,68	2,99	0,99	14,94	40
DLS 100	P3	3,7	4,77	2,70	0,12	0,36	8	13,22	9,71	0,76	3,36	27
	P8	3,7	4,10	0,64	0,06	0,13	5	6,41	15,93	3,35	10,87	37
DLS 200	P1	7,4	7,81	5,61	0,12	0,24	14	8,83	10,43	1,66	0,65	22
	P7	7,4	7,70	1,73	0,04	0,28	10	43,90	9,71	0,53	4,59	59
P												
DLS 0	P4	0,0	0,039	0,015	0,021	0,016	0,09	0,001	0,001	0,003	0,011	0,02
	P11	0,0	0,016	0,010	0,005	0,013	0,04	0,000	0,002	0,033	0,208	0,24
DLS 50	P2	2,1	0,080	0,113	0,017	0,012	0,22	0,049	0,017	0,041	0,025	0,13
	P12	2,1	0,085	0,011	0,005	0,023	0,12	0,026	0,011	0,038	0,119	0,19
DLS 100	P3	4,2	0,306	0,189	0,025	0,024	0,54	0,010	0,009	0,057	0,055	0,13
	P8	4,2	0,064	0,014	0,005	0,011	0,09	0,009	0,009	0,194	0,112	0,33
DLS 200	P1	8,4	0,422	0,122	0,025	0,022	0,59	0,009	0,008	0,037	0,019	0,07
	P7	8,4	0,310	0,049	0,012	0,017	0,39	0,071	0,010	0,038	0,047	0,17
K												
DLS 0	P4	0,0	3,19	0,92	0,70	0,91	6	0,09	0,09	0,08	0,42	1
	P11	0,0	2,18	0,67	0,19	0,92	4	0,08	1,50	2,00	6,70	10
DLS 50	P2	9,3	2,82	1,64	0,48	1,06	6	3,25	0,65	0,38	0,78	5
	P12	9,3	3,54	0,63	0,11	0,90	5	5,21	1,73	0,42	1,96	9
DLS 100	P3	18,6	6,25	1,76	0,44	2,18	11	1,81	0,65	0,56	0,96	4
	P8	18,6	2,88	0,48	0,11	0,76	4	1,41	1,32	2,68	2,09	8
DLS 200	P1	37,2	5,65	1,80	0,26	1,13	9	2,45	0,76	0,83	0,37	4
	P7	37,2	5,30	0,52	0,09	0,75	7	7,06	0,87	0,52	0,92	9

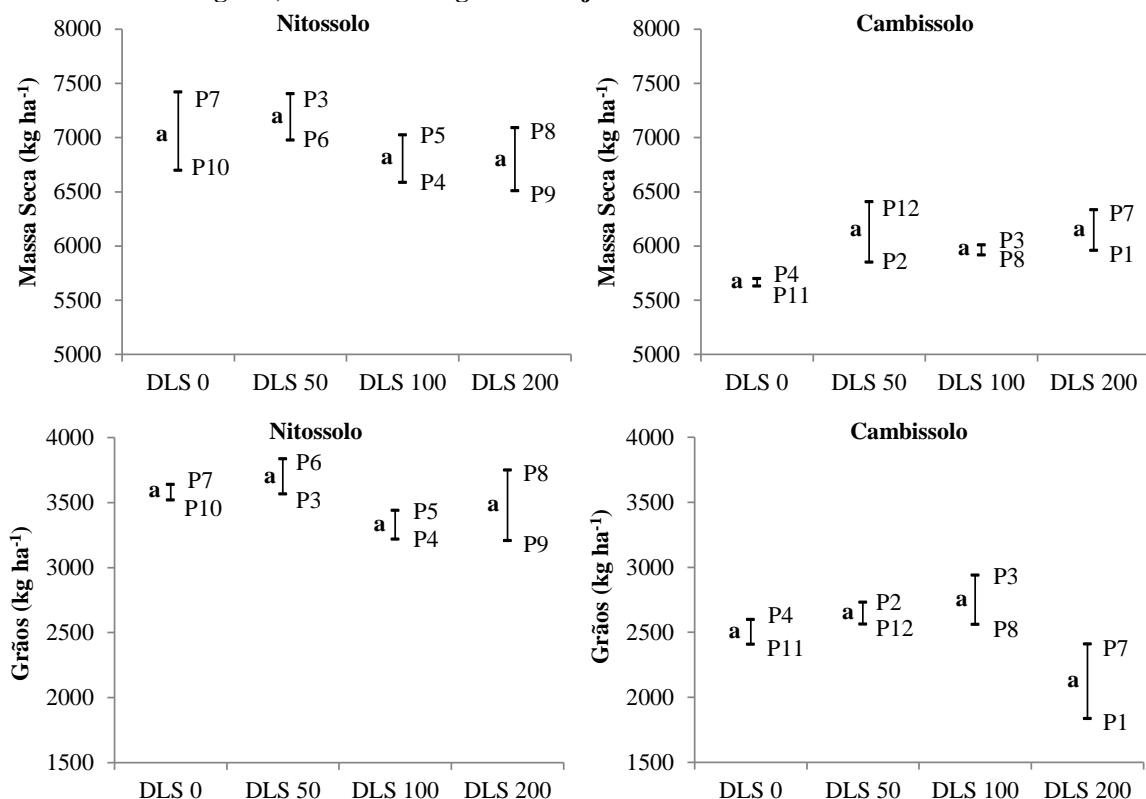
Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

6.7 MASSA SECA DA PARTE AÉREA E MASSA DE GRÃOS DA SOJA

Para os dados de massa seca da parte aérea e massa de grãos da soja se espera observar valores maiores conforme o aumento da dose de DLS, porque o dejeto em doses crescentes supre proporcionalmente as necessidades nutricionais da cultura. Para testar tal hipótese a massa seca da parte aérea e a massa de grãos foram determinadas logo após a colheita da soja.

Os valores de massa seca da parte aérea e massa de grãos (Figura 80) apresentaram uma pequena variação entre as parcelas no Nitossolo. Porém, essa variação não foi suficiente para indicar algum efeito das doses de DLS. No Cambissolo (Figura 80), parece ter havido um efeito da dose de DLS na massa seca da parte aérea, já que as parcelas que receberam alguma dose de DLS apresentaram valores ligeiramente superiores às parcelas que não receberam DLS. Por outro lado, na massa de grãos essa diferença não apareceu. Tanto no Nitossolo como no Cambissolo não foi observada diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos, quanto à massa seca da parte aérea e a massa de grãos da cultura de soja.

Figura 80 – Influência de doses de DLS (0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹) na massa seca da parte aérea (incluindo resíduos e grãos) e na massa de grãos da soja cultivada no Nitossolo e no Cambissolo.



Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2016.

A produtividade da cultura de soja, cultivar CD 214, também não foi influenciada pela aplicação de diferentes doses de DLS (0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹) em um Latossolo Vermelho distroférreo típico (MAGGI et al., 2013). Em mesmo tipo de solo e com as mesmas doses do dejeto, a produtividade da soja, cultivar CD 202/COODETEC, aumentou com a aplicação do dejeto (SMANHOTTO et al., 2013). Avaliando a produtividade de milho, não houve diferença estatística entre os tratamentos que receberam adubação química (NPK) e os tratamentos que receberam dejeto de suínos, indicando que a utilização do referido dejeto como biofertilizante pode ser uma das alternativas para seu destino (SEIDEL et al., 2010).

A cultura não respondeu às doses de DLS porque este, por ser muito diluído, era pobre em nutrientes. Assim, não atendeu as necessidades nutricionais da soja, não permitindo um comportamento diferenciado entre os tratamentos dos dois solos. Os grãos de soja contêm em média, 60 kg t⁻¹ de N, 14 kg t⁻¹ de P₂O₅ (fonte de P) e 20 kg t⁻¹ de K₂O (fonte de K) (SBCS, 2004). Baseado nisso, pelo manual de adubação e calagem (SBCS, 2004) seriam necessários 211 kg ha⁻¹ de N, 22 kg ha⁻¹ de P e 58 kg ha⁻¹ de K para que a soja produzisse 3.520 kg ha⁻¹ no Nitossolo (Figura 80). No Cambissolo, para a produtividade média da soja de 2.505 kg ha⁻¹ (Figura 80), seriam necessários 151 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P e 42 kg ha⁻¹ de K.

Para o N, 0,7% a 2,8% do que a soja necessitaria para a produção de grãos foi fornecido pelas diferentes doses de DLS (DLS 50, DLS 100, DLS 200) aplicadas no Nitossolo (Tabela 11). Para o P os valores variaram entre 7,7% e 30,9% e para o K entre 8,9% e 35,8%. No Cambissolo (Tabela 12) entre 1,3% e 4,9% do N necessário para a produção de grãos de soja foi fornecido pelas diferentes doses de DLS (DLS 50, DLS 100, DLS 200). Para o P os valores variaram entre 14% e 56% e para o K entre 22,1% e 88,6%. Em ambos os solos, o K adicionado via DLS foi o nutriente que mais contribuiu em relação ao total necessário para a produtividade de grãos de soja (Tabela 11, Tabela 12 e Figura 80). Apesar do P adicionado via DLS ter uma contribuição menor que a do K para as necessidades da soja, ainda assim, é uma contribuição importante, enquanto que a de N adicionado via DLS é pouco expressiva.

7 CONCLUSÕES

Para as condições estabelecidas durante a condução dessa pesquisa, em escala de parcela em campo, conclui-se que:

Os atributos físicos (PT, Ma, Mi e DMP) e químicos do solo (N, P e K), a infiltração de água no solo, o escoamento superficial, o transporte de sedimentos, o escoamento subsuperficial e a produtividade da soja, não são influenciadas pela dose de DLS.

O transporte de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ pelo escoamento superficial e subsuperficial do Nitossolo e do Cambissolo aumentam com o aumento da dose de DLS aplicado no solo, principalmente, no primeiro teste de chuva simulada. Em alguns casos esse efeito é percebido ainda nos testes subsequentes de chuva simulada.

O escoamento superficial, o transporte de sedimentos e de NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , P e K^+ diminui ao longo de quatro testes de chuva simulada realizados sobre a soja cultivada no Nitossolo e no Cambissolo, enquanto a infiltração de água no solo e o escoamento subsuperficial aumentam.

Independentemente do solo e do tratamento, NO_3^- é transportado em maior quantidade pelo escoamento superficial e subsuperficial, seguido por K^+ , NH_4^+ , P e NO_2^- .

8 RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se outras pesquisas, com outro tipo de cultura, que não realize fixação biológica de nitrogênio, como por exemplo, o milho. Além disso, usar um DLS mais concentrado e testar doses de adubo mineral, equivalentes às de DLS testadas nesse trabalho.

Com essa pesquisa não se conseguiu afirmar qual é o intervalo de tempo mais adequado entre a aplicação de DLS e o primeiro evento de chuva que resulte em menor transporte de nutrientes pelos escoamentos. Mais pesquisas testando diferentes intervalos de tempo são necessárias.

Sugerem-se, ainda, pesquisas em que as parcelas experimentais permaneçam cobertas para não ter a influencia da chuva natural entre os testes de chuva simulada.

Para verificar apenas o efeito do DLS nos parâmetros avaliados na presente pesquisa, aconselha-se que nos próximos trabalhos a cobertura morta da superfície do solo seja retirada.

Em relação ao escoamento subsuperficial, o mesmo teve influência de fluxo lateral. Se a entrada de fluxo lateral não for desejada, sugere-se, em trabalhos futuros, o isolamento do lisímetro de Ebermayer a partir da superfície do solo até a camada em que se encontra instalado no perfil do solo.

9 REFERÊNCIAS

ABCS - Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Produção de suínos:** teoria e prática. Coordenação editorial Associação Brasileira de Criadores de Suínos; Coordenação Técnica da Integral Soluções em Produção Animal. 1. ed. Brasília: ABCS, 2014, 908 p.

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2016.** São Paulo: ABPA, 2016, 136 p.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 1, 2016.

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejeto de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 720-726, 2014.

ALLEN, B. L.; MALLARINO, A. P. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, p. 125-137, 2008.

AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistema de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.

ARRUDA, C. A. O. **Atributos químicos e físicos do solo influenciados pela aplicação de dejetos suínos em lavoura sob plantio direto.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejeto suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

ASSISTAT 7.7 Beta. **Assistência Estatística.** Responsável Dr. Francisco de Assis Santos e Silva. DEAG-CTRN-UFCG, Campina Grande –PB, Brasil, Registro INPI 0004051-2. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em 20 out. 2016.

ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6 p. 1515-1523, 2007.

ASSOULINE, S.; BEN-HUR, M. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. **Catena**, v. 66, p. 211-220, 2006.

BACHMANN, R. W.; HOYER, M. V.; CANFIELD JUNIOR, D. E. The extent that natural lakes in the United States of America have been changed by cultural eutrophication. **Limnology and Oceanography**, v. 58, n. 3, p. 945-950, 2013.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 397-404, 2014.

BARBOSA, F. T. **Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta**. 2011. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 439-446, 2009.

BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; RAMOS, J. C.; RAMOS, R. R. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1279-1290, 2012.

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.

BARRETA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, A. L.; WILDNER, L. P.; MIQUELLUTI, D. J. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2003.

BARROWS, H. L.; KILMER, V. J. Plant nutrient losses from soils by water erosion. In: NORMAN, A. G. (Ed.). **Advances in Agronomy**. New York: Academic Press, v. 15, 1963, p. 303-316.

BASSO, C. J. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTI, N.; GIROTTI, E. Dejeto líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1305-1312, 2005.

BERTO, J. L. Balanço de nutrientes em uma sub-bacia com concentração de suínos e aves como instrumento de gestão ambiental. 2004. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BERTOL, I.; BERTOL, C.; BARBOSA, F. T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1905-1910, 2012.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Nitossolo háplico alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 541-549, 2007b.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1045-1054, 2004.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007a.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LANA, M. C. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 71-77, 2010.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 429-442, 2005.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, 344 p.

BOINK, A.; SPEIJERS, G. Health effect of nitrates and nitrites. A review. **Acta Horticultae**, Cairo, n. 563, p. 29-36, 2001.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 9. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1984, 780 p.

BRAMORSKI, J.; DE MARIA, I. C.; SILVA, R. L. E.; CRESTANA, S. Utilização de rugosímetro a laser e simulador de chuvas para investigar dois preparamos diferentes de solo sob processos erosivos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA, 2014, p. 201-204.

BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; MORAES, M. P.; GATIBONI, L. C.; LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pigslurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1620-1628, 2012.

BÜHRING, G. M. B.; SILVEIRA, V. C. P. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 2, p. 222-237, 2016.

CARPENTER, S.; CARACO, C. N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Issues in Ecology**, n. 3, 14 p., 1998.

CARVALHAL, R.; BARBOSA, G. C.; MIYAZAWA. Teor de nitrogênio no solo pela aplicação de dejetos de suínos e cama de aviário em Latossolo Vermelho eutroférrico. **Synergismus Scyentifica UFFPR**, Pato Branco, v. 9, n. 1, 4 p., 2014.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 705-712, 2002.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Alteração de características físicas dos solos em função da aplicação de chorume suíno e simulação de chuva em área de plantio direto. In: XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBCS / UFMT, 2002.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização de chorume suíno. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS / UNESP, 2003.

CASTRO, J.; RECKENDORF, F. **Effects of sediment on the aquatic environment: potential NRCS actions to improve aquatic habitat.** Natural Resources Conservation Service: Oregon State University, Department of Geosciences, Working Paper, n. 6, 1995.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L.; BERWANGER, A.L. Dejeto líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A.; GIROTTI, E.; LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 139, n. 4, p. 689-699, 2010.

CHANTIGNY, M. H.; ROCHELLE, P.; ANGERS, D. A.; MASSÉ, D.; CÔTÉ, D. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 68, p. 306-312, 2004.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope lenght on erosion and related parameters.** 1981. Thesis (Doctoral) - Indiana, Purdue University, West Lafayette, 1981.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

COLLINET, J.; VALENTIN, C. Evaluation of factor influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. **Challenges in African Hydrology and Water Resources**, v. 144, p. 451-461, 1984.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. R.; BENEDET, L.; MÜLLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, v. 51, n. 5, p. 459-470, 2013.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. DOU nº 053, p. 58-63.

DAL BOSCO, T. C. **Poluição difusa decorrente da aplicação de água resíduária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies: Part I, Part II, Part III, Part IV, Part V, Part VI, Part VII. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 145-147, n. 5, p. 197-201, n. 6, p. 245-248, n. 7, p. 297-300, n. 8, p. 349-351, n. 9, p. 402-405, n. 10, p. 442-444, apr./oct.1947.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 485-493, 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação de solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., 1975, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1975, p. 107-120.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Suinocultura e meio ambiente em Santa Catarina:** Indicadores de desempenho e avaliação sócio-econômica. MIRANDA, C. R.; MIELE, M. (Org.). Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009, 207 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja:** região central do Brasil. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011, 261 p.

FAO/ITPS - Food and Agriculture Organization of the United Nations / Intergovernmental Technical Panel on Soils. **Status of the World's Soil Resources**. Rome: FAO, 2015, p. 100-398. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-bc601e.pdf> and <http://www.fao.org/3/a-bc595e.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2016.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 11**, Suinocultura, 2000. Florianópolis, SC, 2000. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=83>. Acesso em: 08 set. 2013.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa nº 11.** Suinocultura, outubro de 2014. Florianópolis, SC, 2014. Disponível em: <http://www.sideropolis.sc.gov.br/uploads/273/arquivos/654746_in_11_Suinocultura.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.

FERREIRA, A. O.; GONZATTO, R.; MIOLA, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde**, Mossoró, v. 5, n. 5, p. 182-190, 2010.

FLYNN, C. J. O.; HEALY, M.G.; WILSON, P.; HOEKSTRA, N. J.; TROY, S. M.; FENTON, O. Chemical amendment of pig slurry: control of runoff related risks due to episodic rainfall events up to 48 hours after application. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, p. 6019-6027, 2013.

FONTANA, L.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; BRENNER, M.; BONOTTO, D. M.; SABARIS, T. P. P.; PIRES, M. A. F.; COTRIM, M. E. B.; BICUDO, D. C. The eutrophication history of a tropical water supply reservoir in Brazil. **Journal of Paleolimnology**, v. 51, p. 29-43, 2014.

FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C.T.; JOHNSON, H.D.; BRAKENSIEK, D.L. (Eds.). **Hidrologic modelling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1982, p. 297-380.

FOSTER, G. R.; YOUNG, R. A.; ROMKENS, M. J. M.; ONSTAD, C. A. Process of soil erosion by water. In: FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil erosion and crop productivity**. Madison: American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/Soil Science Society of America, 1985, p. 137-162.

GIDDENS, J.; BARNETT, A. P. Soil loss and microbiological quality of runoff from land treated with poultry litter. **Journal of Environmental Quality**, v. 9, n. 3, p. 518-520, 1980.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; TRENTIN, G.; BASSO, C. J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 95, n. 1, p. 115-131, 2013.

GOSS, M. J.; EHLERS, W. The role of lysimeters in the development of our understanding of soil water and nutrient dynamics in ecosystems. **Soil Use and Management**, v. 25, p. 213-223, 2009.

GRILLO, C. F.; BOINA, C. D.; PINTO, T. K. O.; VICENTE, M. A.; CASTRO, E. V. R.; BARROSO, G. F.; NETO, R. R.; SANTOS, C. C. A survey of the eutrophication state of an urbanized tropical estuary, the case of the great vitória estuarine system, Brazil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 1, p. 21-28, 2016.

HAUTMAN, D. P.; MUNCH, D. J. **Method 300.1:** Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. Revision 1. Ohio: USEPA, 1997, 39 p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-300.1.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2014.

HOLZ, D. J.; WILLIARD, K. W. J.; EDWARDS, P. J.; SCHOOONOVER, J. P. Soil Erosion in Humid Regions: A Review. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, n. 154, p. 48-59, 2015.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil.** Base de dados 1961-1990. Brasília: INMET, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 12 set. 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Precipitação.** Base de dados. Brasília: INMET, 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf>. Acesso em: 12 dez. 2016.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Characteristics of the Nitrate leaching in intensive farming áreas. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3 n. 1, p. 201-210, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia:** relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARCK, F.E. (Eds.) **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965, p. 499-510.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001.

LEMOS, A. M. **Matéria orgânica e perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de preparo e adubação orgânica e mineral em Argissolo Vermelho Amarelo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTA, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 949-958, 2014a.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; CERINI, J. B.; FERREIRA, P. A. A.; LORENSINI, F.; GIROTTA, E.; TIECHER, T. L.; SCHAPANSKI, D. E.; BRUNETTO, G. Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a typic hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 544-556, 2014b.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; GIROTTA, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TRENTIN, G.; GIROTTA, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1827-1836, 2011.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; VÁZQUEZ, E. V.; FABIAN, E. L. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 669-676, 2009.

LUNT, H. A. Forest lysimeter studies under red pine. **Connecticut Experiment Station**, Bulletin 394, New Haven, p. 221-268, 1937.

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

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

MAILLARD, E.; ANGER, D. A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 20, p. 666-679, 2014.

MAÑAS, F. M. S. O.; URREA, R. L. La lisimetría. In: MAÑAS, F.M.S.O.; FUSTER, P.L.; BELMONTE, A.C. **Agua y Agronomía**. Ed. Mundi Prensa, 2005, p. 239-270.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMO, J. C.; WERNER, R. S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D. H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1361-1371, 2013.

MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; FREITAS, S. P.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejeto líquido de suínos. **Revista Ceres**, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.

MECABÔ JÚNIOR, J. **Influência de uma aplicação de dejeto líquido de suínos sobre atributos do solo e erosão hídrica em um Nitossolo Bruno**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

MECABÔ JÚNIOR, J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; OSELAME, G.S. Erosão hídrica influenciada por uma aplicação de dejeto líquido de suínos no solo cultivado em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1601-1611, 2014.

MENEZES, J. A. L.; SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R. L. Temporal behavior of soil water under 'Caatinga' and bare soil in Experimental Basin of Jatobá, Pernambuco. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 1, p. 45-51, 2013.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; ROMKENS, M. J. M. Source of soil eroded by water from upland slopes. **Agricultural Research Service**, ARS-S-40, p. 177-189, 1975.

MEYER, L. D.; McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 644-648, 1958.

MORI, H. F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W. L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejeto líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e

com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 189-198, 2009.

MOSADDEGHI, M. R.; MAHBOUBI, A. A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil and Tillage Research**, v.104, n. 1, p.173-179, 2009.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p.31-36, 1962.

OLIVEIRA, E.; PARIZOTTO, M. L. V. **Características e uso de fertilizantes do esterco de suíno**. Londrina: IAPAR, 1994, 24 p.

OLIVEIRA, J. G. R.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; TORRES, E. C. Perda de solo e água e riscos ambientais da concentração de nutrientes no escoamento superficial em solo cultivado no sistema de plantio direto e submetido a adubações orgânicas e mineral. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, 93-112, 2015.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, Edição especial, Londrina, v. 2, n. 2, p. 66-80, 2016.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993, 188 p.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000.

PAGLIAI, M., BISDOM, E. B. A., LEDIN, S. Changes in surface structure (crusting) after application of sewage sludge and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. **Geoderma**, v. 30, p. 35-53, 1983.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I; ALVES SOBRIMHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo

Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1777-1785, 2011.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; ALEWELL, C.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**, v. 48, p. 38-50, 2015.

PAUL, J. W.; BEAUCHAMP, E. G. Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. **Biological Wastes**, v. 29, p. 313-318, 1989.

PELES, D. **Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejeto líquido de suínos**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PFAFF, J. D. **Method 300.0: Determination of inorganic anions by ion chromatography**. Revision 2.1. Ohio: USEPA, 1993, 28 p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_300-0_rev_2-1_1993.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2014.

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejeto suíno. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 1-4, p. 85-93, 2011.

RAMOS, J. C. **Erosão hídrica influenciada pelo cultivo, cobertura do solo por resíduos culturais e rugosidade superficial, em um Cambissolo Húmico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6; p. 1931-1935, 2006.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Aggregate stability and rain impacted sheet erosion of air dried and prewetted clayey surface soils under intense rain. **Soil Science**, v. 158, n. 3, p. 159-169, 1994.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Surface seal micromorphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. **Soil Technology**, v. 7, p. 303-317, 1995.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 30-48, 2003.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, 29 p.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

RÖMKENS, M. J. M.; HELMING, K.; PRASAD, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. **Catena**, v. 46, p. 103-123, 2001.

RYAN, P. A. Environmental effects of sediment on New Zealand streams: A review. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 25, n. 2, p. 207-221, 1991.

SACOMORI, W.; CASSOL, P. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C. Concentração de nutrientes na solução do subsolo de lavoura fertilizada com dejetos líquidos de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 3, p. 245-258, 2016.

SANTOS, R.C. **Aplicação de dejetos líquidos de suínos: aspectos biológicos e químicos do percolado.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SANTOS, J. Y. G. **Avaliação das perdas de água e solo no semiárido paraibano mediante chuva simulada e modelagem hidrossedimentológica.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SANTOS, S. C. G.; MENEZES, J. F. S.; BENITES, V. M. Lixiviação de nitrogênio em um latossolo vermelho cultivado com soja após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p. 49-60, 2015.

SANTOS, T. E. M.; MONTEMNEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 670-679, 2011.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004, 400 p.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 669-678, 2002.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçoso, v. 34, n. 4, p. 1375-1383, 2010.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um Cambissolo húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1906-1917, 2014.

SCHINDLER, D. W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. **Limnology and Oceanography**, v. 51, n. 1, part. 2, p. 356-363, 2006.

SCHOONOVER, J. E.; CRIM, J. F. An introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, n. 154, p. 21-47, 2015.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, 302 p.

SEIDEL, E. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SILVA, A. P. **Diagnóstico, sócio, econômico e ambiental, aspectos sobre a sustentabilidade da bacia hidrográfica dos frangosos, Concórdia, SC**. 2000. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SI - STATUTORY INSTRUMENTS. Number 31 of European Union (good agricultural practice for protection of waters) regulations. Dublin: Stationery Office, 2014, p. 50.

SMANHOTTO, A.; SAMPAIO, S.C.; DAL BOSCO, T.C.; PRIOR, M.; SONCELA, R. Nutrients Behavior From the Association Pig Slurry and Chemical Fertilizers on Soybean Crop. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 5, p. 723-733, 2013.

SMITH, V. H.; DODDS, W. K.; HAVENS, K. E.; ENGSTROM, D. R.; PAERL, H. W.; MOSS, B.; LIKENS, G. E. Comment: Cultural eutrophication of natural lakes in the United States is real and widespread. **Limnology and Oceanography**, v. 59, n. 6, p. 2217-2225, 2014.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.

SMITH, D. R.; OWENS, P. R.; LEYTEM, A. B.; WARNEMUENDE, E. A. Nutrient losses from manure and fertilizer applications as impacted by time to first runoff event. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 131-137, 2007.

SOUZA, M. D. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004, 20 p.

STANISIC, S. M.; IGNJATOVIĆ, L. M.; STEVIĆ, M. C.; DORDEVIĆ, A. R. A comparison of sample extraction procedures for the determination of inorganic anions in soil by ion chromatography. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 76, n. 5, p. 769-780, 2011.

SWANSON, N. P. Rotating-boom rainfall simulator. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 8, p. 71-72, 1965.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995, 174 p.

TOMER, M. D.; MOORMAN, T. B.; KOVAR, J. L.; COLE, K. J.; NICHOLS, D. J. Eleven years of runoff and phosphorus losses from two fields with and without manure application, Iowa, USA. **Agricultural Water Management**, v. 168, p. 104-111, 2016.

USDA/EPA - United States Department of Agriculture and United States Environmental Protection Agency. **Unified National Strategy for Animal Feeding Operations.** Washington: USDA/EPA, 1999, 34 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/finafost.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2013.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051A:** Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Revision 1. Washington: USEPA, 2007. 30p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARE LLA, H.; QUAGGIO, J.A. Determinação da Matéria Orgânica. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.189-199.

VEIGA, M.; PANDOLFO, C.M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I.S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejeto líquido de suínos. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 74-77, 2012.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of a hapludox in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, 2009.

VRBEK, B.; PILAS, I.; DUBRAVAC, T.; NOVOTNY, V.; DEKANIC, S. Effect of deposition substances on the quality of throughfall and soil solution of pedunculate oak and common hornbeam forest. **Periodicum Biologorum**, Zagreb, v. 110, n. 3, p. 269-275, 2008.

WAKATSUKI, T.; RASYIDIN, A. Rates of weathering and soil formation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 52, p. 251-263, 1992.

WARD, M.H.; DEKOK, T.M.; LEVALLOIS, P.; BRENDER, J.; GULIS, G.; NOLAN, B.T.; VANDERSLICE, J. Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health - Recent Findings and Research Needs. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 11, p. 1607-1614, 2005.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W.; CAREFOOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 962-966, 2000.

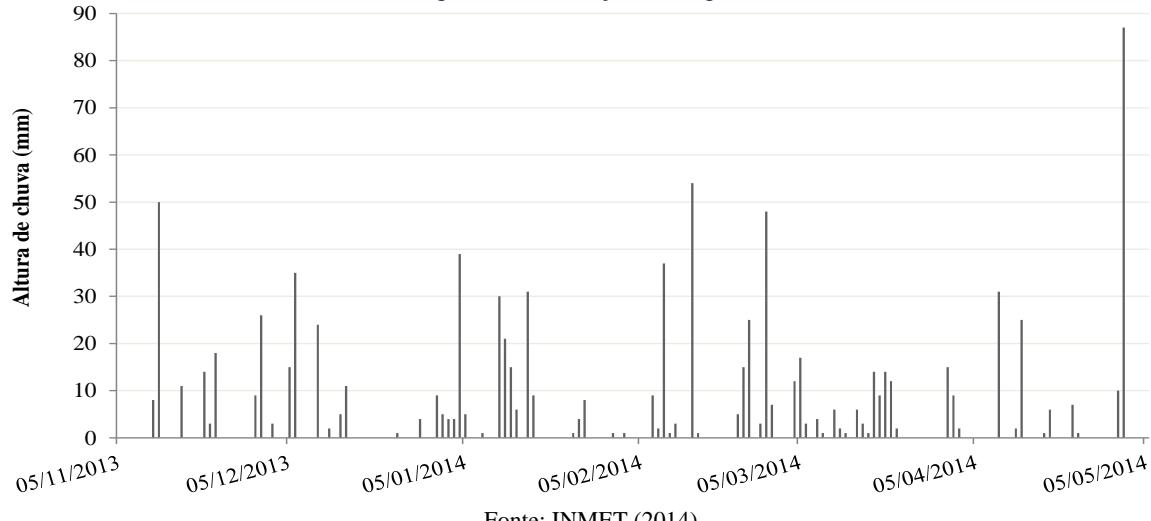
WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture (Agriculture Handbook Number 537), 1978, 58 p.

ANEXOS

APÊNDICE A – Altura de chuva registrada na estação de Lages – SC entre 05/11/2013 e 05/05/2014.



Fonte: INMET (2014).