**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma
pedossequência do estado do Paraná**

Cristhiane Anete Neiverth

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas**

**Piracicaba
2013**

Cristhiane Anete Neiverth
Bacharel em Física

**Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma
pedossequência do estado do Paraná**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO LEONEL LIBARDI**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas**

**Piracicaba
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Neiverth, Cristhiane Anete

Lixiviação de Nitrato e Amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do estado do Paraná / Cristhiane Anete Neiverth.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
114 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Colunas de solo indeformado 2. Eluição 3. Contaminação da água I. Título

CDD 631.43
N417L

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais Eros e Izabel, por acreditaram em mim e sempre apoiarem minhas escolhas, mesmo diante das adversidades fomos cúmplices e acima de tudo amigos.

A minha querida vovó Eunice e meu vovô Raimundo
pelo amor que sempre me dedicaram.

(In memoriam)

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, fiel amigo em todos os momentos da minha vida;

Aos meus pais Eros e Izabel, irmã Claudia e cunhado Marcos, pelo apoio e amizade irrestrita, minha eterna gratidão;

Ao prof. Dr. e orientador Paulo Leonel Libardi pela amizade, paciência, apoio e dedicação e por fazer-me acreditar que tudo tem um recomeço, meu respeito e admiração pelo caráter raro no mundo em que vivemos;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelo acolhimento;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos;

Ao prof. Sérgio Oliveira Moraes por todos os ensinamentos no desenvolvimento do trabalho e no Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE).

Ao Dr. Renato Dedeczek e ao Dr. Gustavo Ribas Curcio pela amizade, co-orientação e sugestões de grande importância.

Aos secretários Francisco e Fernando (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas) e a Marta (Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas) pela sempre prestativa atenção.

Ao prof. Marcos Yassuo Kamogawa do Departamento de Ciências Exatas da Esalq, pela colaboração nas análises químicas e sugestões no trabalho.

Aos amigos Osmar Becker e ao Luciano Bail da Embrapa Escritórios de Negócios de Ponta Grossa, pela prontidão a qualquer hora do dia e da noite, oferecendo toda a assistência técnica e a estrutura física necessária para o desenvolvimento do trabalho.

A Rosi Mulik e a toda a sua família que sempre me proporcionaram momentos incríveis.

Aos meus padrinhos Maria e Luís Pioli; aos meus primos Rafaela, Michele, Diogo, Israel, Raimundo e Guilherme pelo apoio, incentivo e orações.

Ao pastor Sérgio Renato Flor, a Célia e o Artur pela eterna amizade.

As amigas Luciana e Claudia pela amizade e pelos momentos incríveis e pelo apoio em todos os momentos e a todos os seus familiares que sempre me acolheram tão bem em Piracicaba.

As grandes amigas da Embrapa Florestas: Beth, Simone, Nádia e Claudia Mara minha eterna gratidão pelo apoio irrestrito.

A todos os colegas de corredor (Marcelo, Neilo, Fernando, Luciano, Roque, Angélica, Susan, Marcos, André, Jaime e Alcione) com quem convivi diariamente e especialmente com quem dividi a sala mais aconchegante do departamento, sala 115 d (Jaedson, Alex, Adriano, Helon, Fernando, Mônica, Verena e Ismael) que sempre ofereceram um ombro amigo nos dias mais difíceis.

E a todos que de alguma forma contribuíram e sonharam junto comigo para a realização deste trabalho.

Então formou o Senhor Deus ao homem
do pó da terra (solo) e lhe soprou nas narinas
o fôlego da vida, e o homem passou a
ser alma vivente.
(Gênesis, 2:7)

“Eis que envio um
anjo diante de ti,
para que te guarde neste caminho.”
(Êxodo, 23:20).

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE ABREVIATURAS	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivo	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Pedossequências ou Cabeceira de drenagem.....	23
2.2 Solos da pedossequência e regime hídrico.....	24
2.3 Contaminação da água por práticas agrícolas.....	26
2.4 Características gerais do nitrogênio.....	27
2.4.1 Mineralização.....	28
2.4.2 Amonificação.....	28
2.4.3 Imobilização.....	29
2.4.4 Nitrificação.....	29
2.4.5 Desnitrificação.....	30
2.5 Lixiviação de nitrato e amônio na cultura do milho.....	30
2.6 Retenção de nitrato e amônio no solo.....	31
2.7 Problemas associados ao excesso de nitrato e amônio na água	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 Descrição geral e localização da área experimental.....	35
3.1.1 Clima.....	37
3.1.2 Geologia.....	38
3.2 Procedimento metodológico.....	39
3.2.1 Solos selecionados.....	39
3.3 Descrição morfológica dos solos.....	40
3.4 Coleta das amostras.....	40
3.5 Preparação das colunas e experimento no laboratório.....	42
3.6 Trabalhos de laboratório.....	44
3.6.1 Análises químicas dos solos.....	45

3.6.2 Análises físico-hídricas dos solos.....	45
3.6.3 Densidade do solo nas colunas.....	47
3.6.4 Quantificação Colorimétrica de nitrato.....	47
3.6.5 Análise por Injeção em Fluxo (FIA) do amônio.....	48
3.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Volume de água lixiviado.....	49
4.2 Lixiviação de amônio.....	50
4.3 Lixiviação de nitrato.....	56
4.4 Amônio e nitrato nos solos coletados no campo, antes da aplicação da ureia e NPK	6
4.5 Amônio retido nas colunas de solos, após a adição de ureia e NPK.....	63
4.6 Nitrato retido nas colunas de solos, após a adição de ureia e NPK.....	65
4.7 Análise conjunta do Nitrogênio lixiviado e retido nos solos da pedossequência.....	67
5 CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXOS.....	83

RESUMO

Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do estado do Paraná

O uso intensivo do solo na agricultura associado ao consumo de fertilizantes nitrogenados tem causado a degradação acelerada dos recursos naturais e dos mananciais. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a lixiviação dos íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) em colunas indeformadas de solo de uma pedossequência (cabeceira de drenagem), no município de Ponta Grossa, Paraná, analisando o comportamento dos solos em relação à susceptibilidade à contaminação da água pela lixiviação destes íons. Foram coletadas amostras de solo indeformadas de 0,5 m de comprimento, nas profundidades de 0 a 0,50 m e de 0,50 a 1,00 m. Nas amostras à granel foram efetuadas análises de macro e micronutrientes, da acidez atual e potencial, do teor de matéria orgânica e da granulometria nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade. Para determinação das porosidades (macro, micro e total) dos solos foram feitas coletas de amostras em anéis volumétricos nas mesmas profundidades das amostras à granel. Os solos descritos e amostrados foram os seguintes: Latossolo Bruno* Distrófico rubrico (não-hidromórfico), Cambissolo Húmico Distrófico gleissólico (semi-hidromórfico) e Gleissolo Melânico Tb Distrófico típico (hidromórfico). Nas colunas foram adicionadas quantidades de ureia e NPK equivalente a adubação recomendada para um ano e o volume de água adicionado foi equivalente a um ano de precipitação pluvial. Foram determinadas as concentrações de NO_3^- pelo método colorimétrico do salicilato e de NH_4^+ pelo sistema FIA (Análise de Injeção de Fluxo) nas amostras de água eluídas nos solos. Os resultados das análises foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa SAS. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que: o volume de eluição para os solos da coluna de superfície foi maior para o Gleissolo e Latossolo em relação ao Cambissolo, provavelmente devido a compactação desse último. Ao contrário do solo das colunas de superfície, a subsuperfície do Cambissolo apresentou o maior volume de eluição em relação ao Latossolo; as colunas de solo de superfície apresentaram maior lixiviação de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no Latossolo em relação ao Cambissolo e Gleissolo. Na subsuperfície, tanto a lixiviação de N-NH_4^+ como a lixiviação de N-NO_3^- não diferenciou estatisticamente no Latossolo e Cambissolo. Para o N-NH_4^+ houve maior retenção no Latossolo em relação ao Cambissolo e o Gleissolo na camada 0,0-0,1 m e maior retenção no Cambissolo e o Gleissolo na camada de 0,1-0,2 m; nas demais camadas não houve diferença estatística. Com relação ao N-NO_3^- praticamente não houve retenção nos solos estudados; a lixiviação de nitrogênio nos três solos foi maior na forma N-NH_4^+ em relação a forma N-NO_3^- .

Palavras-chave: Colunas de solo indeformado; Eluição; Contaminação da água

ABSTRACT

Ammonium and nitrate leaching in undisturbed soil columns of a pedossequece of Paraná State (Brazil)

The intensive use of soil in agriculture associated with the nitrogen fertilizers consumption has caused accelerated degradation of natural resources and water sources. This study aimed to evaluate leaching of nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) ions in undisturbed soils columns of a pedossequece in the county of Ponta Grossa, Paraná (Brazil) ($25^\circ 09' \text{ S}$, $50^\circ 16' \text{ W}$) and to analyse the behavior of soils in relation to water contamination susceptibility by leaching of these ions. Undisturbed soil columns were collected in these soils, in the depths from 0 to 0.5 m and from 0.5 to 1.0 m. In the disturbed soil samples were measured both macro and micronutrients, current and potential acidity, organic matter content and particle size at depths of 0-0.1 m, 0.1-0.2 m, 0.2-0.3 m, 0.3-0.5 m and 0.5-1.0 m. To determine the porosity (macro, micro and total) of soil, undisturbed soil samples were collected using Uhland extractor at the same depths of the disturbed ones. Soils described and sampled were the following: Latosol (non-hydromorphic), Cambisol (semi-hydromorphic) and Gleisol (hydromorphic). Urea and NPK equivalent to fertilization for one year and water equivalent to one year of rainfall were added into the soil columns. Concentrations of NO_3^- and NH_4^+ in eluate (water) samples and in the soils were determined by salicylate colorimetric method and FIA system (Flow Injection Analysis), respectively. The results were subjected to variance analysis and means compared by Tukey test at 5% probability, using the SAS program. From this experiment it could be concluded that: (i) the elution water volume for surface soil columns (0.0-0.5 m) was higher for Gleisol and Latosol in relation to Cambisol, probably due to compaction of Cambisol and, in contrast, for subsurface soil columns (0.5-1.0 m), the elution water volume was higher in Cambisol than Latosol; (ii) in surface soil columns, N-NH_4^+ and N-NO_3^- lixiviations were higher in Latosol in relation to Cambisol and Gleisol and, in subsurface soil columns, both N-NH_4^+ and N-NO_3^- lixiviations were not significantly different in Latosol and Cambisol; (iii) there was higher N-NH_4^+ retention in Latosol in relation to Cambisol and Gleisol only in 0.0-0.1 m soil layer and a higher N-NH_4^+ retention in Cambisol and Gleisol in relation to Latosol only in 0.1-0.2 m soil layer, whereas with respect to N-NO_3^- , there was no retention in any soil layers in studied soils; (iv) nitrogen lixiviation in the three soils was higher as N-NH_4^+ than N-NO_3^- .

Keywords: Undisturbed soil columns; Elution; Water contamination

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização dos Campos Gerais do Paraná. 1: Serra Geral; 2: Escarpa Devoniana; 3: Extensão dos Campos Gerais.....	35
Figura 2 -	Posições dos solos na paisagem e diferentes regimes hídricos: não-hidromórfico (NH), semi-hidromórfico (SH) e hidromórfico (H).....	36
Figura 3 -	Cabeceira de drenagem, localizada na área da EMBRAPA – Escritórios de Negócios, localizado no município de Ponta Grossa – Paraná.....	36
Figura 4 -	Cabeceira de drenagem, localizada na área da EMBRAPA – Escritórios de Negócios, localizado no município de Ponta Grossa – Paraná.....	37
Figura 5 -	Mapa da área estudada.....	37
Figura 6 -	Precipitação pluvial correspondente aos anos de 2000 a 2010.....	38
Figura 7 -	Abertura da trincheira.....	41
Figura 8 -	Coleta da coluna de solo em subsuperfície.....	41
Figura 9 -	Colunas de solo no suporte de alumínio.....	42
Figura 10 -	Detalhe dos frascos com conteúdo lixiviado.....	43
Figura 11 -	Fracionamento da coluna de solo.....	44
Figura 12 -	Detalhe do fracionamento da coluna de solo.....	44
Figura 13 -	Secagem das amostras de solo para determinação da densidade.....	47
Figura 14 -	Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Latossolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	51
Figura 15 -	Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Cambissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	52
Figura 16 -	Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Gleissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	53
Figura 17 -	Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Latossolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de três repetições.....	54
Figura 18 -	Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a	

	percolações com água destilada. Média de três repetições.....	55
Figura 19 -	Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Latossolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	57
Figura 20 -	Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Cambissolo de superfície (0-0,50 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	58
Figura 21 -	Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Gleissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições.....	59
Figura 22 -	Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Latossolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de três repetições.....	60
Figura 23 -	Concentração (mg/L) acumulada de nitrato lixiviado do Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 cm) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de três repetições.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Utilização das áreas analisadas nos últimos 10 anos.....	39
Tabela 2-	Análises químicas do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 cm, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade, média das triplicatas.....	45
Tabela 3 -	Análises físicas do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 cm, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade, média das triplicatas.....	46
Tabela 4 -	Valores médios do volume (L) de água eluído das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m).....	49
Tabela 5 -	Valores médios do volume (L) de água eluído das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m).....	50
Tabela 6 -	Valores médios diários da quantidade de amônio (mg) lixiviada das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m).....	56
Tabela 7 -	Valores médios diários da quantidade de amônio (mg) lixiviada das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m).....	56
Tabela 8 -	Valores médios diários da quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m).....	61
Tabela 9 -	Valores médios diários da quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m).....	62
Tabela 10 -	Valores médios da quantidade de amônio retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m).....	63
Tabela 11 -	Valores médios da quantidade de amônio retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m).....	64
Tabela 12 -	Valores médios da quantidade (mg) de nitrato retido nas colunas com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m).....	65
Tabela 13 -	Valores médios da quantidade (mg) de nitrato retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m).....	66
Tabela 14 -	As duas formas quantificadas de N: N-NH_4^+ e N-NO_3^- na água de eluição e retido nos solos das colunas para o Latossolo superfície (Lat S), Latossolo Subsuperfície (Lat Sub), Cambissolo Superfície (Camb S), Cambissolo Subsuperfície (Camb Sub) e Gleissolo Superfície (Glei S).....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

AD - Água Disponível

AF - Areia Fina

AG - Areia Grossa

Al - Alumínio

Arg - Argila

Ca - Cálcio

CTA -Capacidade de Troca de Ânions

CTC -Capacidade de Troca de Cátions

Ds - Densidade do solo

H+Al - Acidez Potencial

K - Potássio

Ks - Condutividade hidráulica

m% - Saturação de Alumínio

MO - Matéria Orgânica

Macro - Macroporosidade

Mg - Magnésio

Micro - Microporosidade

N - Nitrogênio

NH_4^+ - Amônio

NO_3^- - Nitrato

P - Fósforo

P_{aer} - Porosidade de aeração

PT - Porosidade Total

S - Silte

SB - Soma de Bases

V% - Saturação de Bases

1 INTRODUÇÃO

O solo exerce a função de "filtro" depurando as impurezas nele depositadas, mas torna-se limitado quando há excesso de deposição, ocasionando inúmeros problemas aos recursos hídricos. Quando elementos químicos são depositados no solo representam um grande risco para saúde humana, pois podem reduzir a qualidade da água, expondo pessoas e animais ao consumo de água poluída.

Alguns anos atrás, os recursos hídricos eram considerados inesgotáveis, mas hoje se sabe que são limitados e estão comprometidos em virtude da alta produção agrícola e pelo uso indiscriminado de agroquímicos devido à baixa fertilidade dos solos tropicais. Os ambientes de pedossequências têm sido intensivamente utilizados para estas práticas, causando desequilíbrio nos ecossistemas devido à falta de manejo adequado dos solos. Dependendo da capacidade de infiltração do solo e da estrutura da rocha, os agroquímicos podem atingir e contaminar os aquíferos confinados.

Entre os agroquímicos mais utilizados está o Nitrogênio (N), na forma de ureia e sulfato de amônio, responsável pelo aumento na produção de grãos em todo o mundo. No Brasil, a ureia vem sendo utilizada há muito tempo como fonte de N na agricultura e nos últimos anos tornou-se o mais utilizado no país, devido à alta solubilidade. Porém, possui o inconveniente de apresentar perdas por lixiviação quando altas doses são aplicadas devendo o manejo da adubação nitrogenada ser realizado de maneira a satisfazer a necessidade da cultura e oferecendo o mínimo de risco ao ambiente.

Uma das culturas que mais utiliza a adubação nitrogenada é a do milho (*Zea mays L.*). Esta apresenta alto potencial produtivo e é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. O N vem a ser o nutriente que mais limita o rendimento destes grãos e também o que proporciona as maiores respostas a esta cultura.

Desta forma, é necessário o entendimento da capacidade de filtro dos solos e da dinâmica dos íons nas áreas de pedossequência, considerando as diferentes texturas e os teores de matéria orgânica dos solos, bem como a relação das classes pedológicas em suas diversas posições nas pedossequências. A textura exerce grande influência na permeabilidade e na capacidade de filtro do solo. Os solos de textura arenosa possuem elevada permeabilidade e menor capacidade de filtro em relação aos solos argilosos, devendo a espessura deles ser levada em consideração. Diferentemente dos solos profundos, os rasos possuem menor capacidade filtro e maior vulnerabilidade à contaminação dos corpos hídricos.

1.1 Objetivo

Determinar a lixiviação dos íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) em colunas de solos com estrutura indeformada de uma pedossequência, no município de Ponta Grossa, Paraná, analisando o comportamento dos solos (não-hidromórfico, semi-hidromórfico e hidromórfico) em relação à susceptibilidade à contaminação da água pela lixiviação dos íons NH_4^+ e NO_3^- .

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pedossequências ou Cabeceiras de drenagem

O termo “cabeceira de drenagem” na literatura internacional é designado de “hollow” (HACK, 1960). No Brasil, a expressão recebe várias denominações como rampa (MEIS e MONTEIRO, 1979), concavidade (AVELAR e COELHO NETTO, 1992), bacia de ordem zero, microbacia, vale não canalizado, cabeceira de vale e outros (PAISINI et al. 2006).

As cabeceiras de drenagem ou pedossequências apresentam funcionalidades ambientais de grande relevância, entre elas a filtragem da água (SOUSA et al, 2009). Segundo Coelho Netto (2003) as mesmas podem variar em suas condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas. Podem ser unidades simples ou conter uma ou mais concavidades menores que convergem e alimentam a concavidade principal.

Com base nas características citadas acima, o movimento da água ao longo da pedossequência pode apresentar uma dinâmica diferenciada, de acordo com o regime hídrico (não-hidromórfico, semi-hidromórfico e hidromórfico) que apresentam. Nos solos não-hidromórficos, dependendo da profundidade, porosidade e densidade (Ds), há predomínio de infiltração vertical, característica típica dos Latossolos.

No solo semi-hidromórfico, representado pelo Cambissolo, o movimento da água ainda prevalece neste sentido, porém, menos pronunciado pois ocorre um incremento no escoamento superficial e sub-superficial, até chegar às proximidades do solo hidromórfico, onde há o surgimento de um horizonte argiloso. Nesta porção da vertente ocorre o início de outro solo, representado pelo Gleissolo, com predomínio de escoamento superficial em relação ao vertical, sendo evidenciado pela brusca queda da macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) em relação à parte superior da vertente (DORES, 2005), onde ocorrem os solos não-hidromórficos.

No solo hidromórfico (final da vertente) a quantidade de macroporos é menor em relação aos microporos, sendo estas responsáveis pela retenção de água. Nestas porções ocorre a presença do lençol freático mais próximo à superfície do terreno. A Ds aumenta reduzindo a drenagem no sentido vertical. Nas frações de areia há aumento da proporção de areia grossa (AG) em relação a areia fina (AF), podendo ser carregada com o silte (S) e argila em direção ao curso d'água (SALOMÃO, 2007).

Observa-se que os solos de pedossequências apresentam uma paisagem heterogênea, submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas, potencializando a vulnerabilidade das mesmas e tornando-as mais suscetíveis a ocorrência de desastres naturais relacionados à água (SATO et al, 2007). O fato é que ainda não está totalmente compreendida a dinâmica

dos processos que ocorrem nos aquíferos subterrâneos no domínio das cabeceiras de drenagem (COELHO NETTO, 2003).

2.2 Solos da pedossequência e regime hídrico

O solo é parte integrante de todo o ecossistema e representa o fundamento sobre a qual se desenvolvem todas as comunidades terrestres. O solo serve de apoio e provê parte do alimento e do espaço vital das comunidades de seres vivos (HOLDRIDGE, 1982).

Resende et al, (2002) afirmam que o solo é função de combinações de clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Prevedello (1996) considera o solo como um sistema multicomponente, integrado pela fase sólida, líquida e gasosa. As duas últimas fases são complementares: a máxima presença de uma implica na ausência da outra. A porção do espaço poroso não ocupado pela fase líquida é complementada pela fase gasosa. A fase líquida pode estar presente nos poros do solo completa ou parcialmente. A fase sólida é constituída de partículas minerais, na grande maioria, e de substâncias orgânicas. Esses compostos orgânicos e minerais sólidos são de várias formas, tamanhos e composições químicas, constituindo a matriz do solo.

A matriz do solo apresenta várias fases de desenvolvimento, sendo estas fases produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica se são solos jovens, pouco desenvolvidos, como na posição final da vertente. No outro extremo, posição inicial da vertente, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos (CREPANI et al, 2001).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) não faz referência a solos hidromórficos, semi-hidromórficos e não-hidromórficos, no entanto, independente do tempo em que se encontram saturados, é possível separar as classes de solos que estão sob forte influência hídrica, segundo o grau e a profundidade da manifestação dos processos de hidromorfia (CURCIO, 2006).

Curcio (2006) afirma que o posicionamento dos solos na paisagem e as variações das formas topográficas implicam em maior ou menor probabilidade da influência do nível do lençol freático. O lençol freático, juntamente com as características pedológicas texturais, estruturais e mineralógicas condicionam o regime hídrico dos solos, que podem ser classificados como hidromórficos: ocorrência de saturação hídrica entre 0 e 50 cm de profundidade na maior parte do tempo; semi-hidromórficos: saturação hídrica entre 50 e 100 cm de profundidade na maior parte do tempo e não-hidromórficos: ausência de saturação hídrica na seção de 100 cm de profundidade na maior parte do tempo.

As planícies contêm diferentes níveis e formas topográficas, condizendo com áreas mais ou menos sujeitas à ação de enchentes, ou mesmo à influência do lençol freático, os quais, juntamente com as características pedológicas texturais e estruturais condicionam o regime hídrico dos solos: saturados, semi e não-saturados (CURCIO, 2006).

Em Brady e Weil (1999) é possível encontrar alguns quesitos de solos hidromórficos, tais como: são sujeitos a períodos de saturação hídrica que inibem a difusão de O_2 ; são submetidos a substanciais períodos de tempo sob condições redutoras; exibem certas feições indicadoras de hidromorfia, tais como acúmulo ou perda de carbono. Com relação ao carbono, comentam os autores que solos saturados hidricamente tendem a acumular matéria orgânica (MO) devido às condições anaeróbicas prevalentes, concordando com afirmações de Oliveira (2001).

Os Latossolos ocupam aproximadamente 30% da área do estado do Paraná. São constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo do horizonte diagnóstico superficial, exceto H hístico. São solos em estágio avançado de intemperização e muito evoluídos. São virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedades com cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, transicionais para condições de maior grau de gleização. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do solum raramente inferior a um metro. Têm sequência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação entre os horizontes. O incremento de argila do A para o B é pouco expressivo e a relação textural B/A não satisfaz os requisitos para B textural. Geralmente os teores da fração argila no solum aumentam gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil. Tipicamente, é baixa a mobilidade das argilas no horizonte B, com exceção dos solos desenvolvidos de material arenoso quartzoso ou de constituintes orgânicos. Em geral são fortemente ácidos, com baixa saturação de bases (V%), distróficos ou álicos. Porém, ocorrem solos com média e alta V%, encontrados em zonas que apresentam estação seca pronunciada, como em solos formados a partir de rochas básicas (EMBRAPA, 1999). É comum na região sul do país em grandes altitudes (>800m). A fertilidade natural é baixa e os teores de alumínio trocável (Al) são elevados (IBGE, 2007).

Os Cambissolos, localizados no terço médio da paisagem, são constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que não satisfaçam os requisitos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos ou Gleissolos. Devido à heterogeneidade do material

de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características desses solos variam muito de um local para o outro. Comportam desde solos fortemente a imperfeitamente drenados, rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro e de alta a baixa V%. O horizonte B incipiente tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, com teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento do A para o B incipiente. Admite-se a diferença marcante do A para o B incipiente em casos de solos desenvolvidos a partir de sedimentos aluviais ou outros casos em que há descontinuidade litológica. A estrutura do horizonte B incipiente pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos de estrutura em grãos simples. É a classe de maior expressão nos Campos Gerais, ocupando 40% da área (EMBRAPA, 1999). Apresentam maior fragilidade ambiental que os Latossolos e atualmente grande parte destes solos já foi incorporada à área agrícola.

No terço inferior da pedossequência encontra-se o Gleissolo Melânico, cuja característica de hidromorfia decorre de sua posição na cabeceira de drenagem. Caracterizam-se por apresentar grandes variações espaciais (morfológicas, físicas e químicas). O relevo varia de plano a suave ondulado (PINTO et al, 1999). Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm na baixa drenagem a maior limitação para o uso agrícola (IBGE, 2007) devido à presença do lençol freático elevado e freqüente risco de alagamento (VIEIRA, 2003). Nos Campos Gerais correspondem a 1,40% das classes de solos (UEPG, 2003) com área de 16.403,84 hectares. Na maioria das vezes, apresentam grande quantidade de argila e consistência muito dura quando seco e muito plástico e pegajoso quando molhado. É pouco poroso e de baixa condutividade hídrica com grande distribuição nas depressões e planícies, em associação com os Organossolos (EMBRAPA, 1999). Geralmente estão localizados na faixa de transição entre os Organossolos e os Cambissolos, caracterizando uma faixa de amortização para os Organossolos dos efeitos degradantes que possam vir das encostas tendo papel fundamental de depuração para preservar a qualidade da água que chega aos Organossolos (CURCIO, 2004). Possuem alta vulnerabilidade e, quando incorporados ao sistema produtivo, alteram o ambiente, levando à sua degradação (JACOMINE, 2000).

2.3 Contaminação da água por práticas agrícolas

A água é vital ao homem e essencial ao desenvolvimento das atividades sociais e econômicas, de tal maneira que a demanda hídrica só tende a aumentar (POSTEL et al, 1996). No entanto a água é um recurso natural limitado em função do uso excessivo em diversas atividades (DODDS, 1998). No mundo, já existem muitas regiões com carência de água

(UNESCO, 2006) e no Brasil, apesar da grande oferta hídrica, as regiões com elevada densidade populacional já enfrentam problemas com escassez.

Estimativas do balanço hídrico mundial indicam que 94% da água no mundo estão nos oceanos e mares (1370 km²) (LAL, 1994). Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2006), a distribuição da água superficial no mundo ocorre da seguinte maneira: América (46,53%), Ásia (31,59%), África (9,48%), Europa (6,79%) e Oceania (5,61%). A distribuição da água superficial no Continente Americano é: América do Norte (32,2%), América Central (6,5%) e América do Sul (61,3%). O Brasil pode ser considerado um país privilegiado na reserva de recursos hídricos, com aproximadamente 13% da reserva de água doce do mundo (ANA, 2005).

Segundo dados da UNESCO (2003), o consumo mundial de água para uso agrícola nos países de maior rendimento é de 30% e países de baixo e médio é de 82%, provocando efeitos adversos na qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Isto ocorre especialmente quando se destina novas áreas para agricultura ou se intensificam as já existentes, aumentando a dependência de produtos químicos.

Grande parte desta parcela liberada causa a poluição nos recursos hídricos das cabeceiras de drenagem (CHAUBEY et al, 2007). Segundo Prasad et al, (2005), em Ohio, EUA, os níveis de contaminantes nas águas provenientes da agricultura apresentam valores elevados. Bernot et al, (2006) afirmam que a agricultura é a principal fonte de poluição nas águas de cabeceira de drenagem dos EUA, resultando na eutrofização do ecossistema aquático e na crescente falta de oxigênio. Assim, o entendimento de como os nutrientes são transportados em áreas agricultáveis pode colaborar na redução dos danos causados devido ao aumento no uso de nutrientes que são exportados aos ecossistemas. O potencial de contaminação da água não está restrito somente ao período posterior à adição do nutriente, porque o solo atua como agente tamponante e é capaz de retê-lo e liberá-lo gradativamente à solução. Se estes chegarem ao lençol freático, passarão a fazer parte da água subterrânea, causando problemas à saúde humana e ao meio ambiente (PIOVESAN, 2006).

2.4 Características gerais do Nitrogênio

O N ocorre nos solos em combinações orgânicas, mas são as formas inorgânicas que estão disponíveis às plantas (RAIJ, 1991). Na forma disponível, a quantidade de N no solo é baixa e encontra-se em rochas e minerais (MELGAR et al. 1999). Os mesmos autores afirmam que 78% do N em volume estão na forma de gás inerte e para que esse elemento possa ser utilizado na agricultura, há necessidade de fixação, podendo ocorrer por processos

biológicos (sendo este um dos mecanismos de adição de N ao solo), a adição de M.O., adubos orgânicos ou minerais e adição pela água pluvial. Já os mecanismos de perda do solo podem ocorrer através da remoção pelas colheitas, lixiviação, erosão e volatilização (MELO, 1978).

Destes processos, os dois mais importantes são as descargas elétricas na atmosfera e a fixação biológica, sendo o último de maior relevância como entrada no sistema (VITOUSEK e HOWARTH, 1991). Os processos biológicos de fundamental importância realizam a remoção através da amonificação (conversão do N orgânico em amônia), nitrificação (amônia é oxidada a NO_3^- via Nitrito) seguida de desnitrificação, na qual, NO_3^- é reduzido para N molecular (RAIJ, 1991).

Howarth (1996) afirma que nas regiões com agricultura intensiva, as fontes antrópicas de N apresentam ordens de magnitude superiores às entradas naturais. No entanto, em locais onde fontes antrópicas de aporte de N são menos importantes, os processos naturais ainda dominam estas entradas (HEDIN et al, 1995).

2.4.1 Mineralização

O processo que converte as formas orgânicas de N às formas inorgânicas denomina-se mineralização. O mesmo ocorre à medida que os microrganismos decompõem a M.O. no solo para obter energia (COSTA, 2001). Quando a M.O. é decomposta, a liberação de N mineral é favorecida por valores baixos da relação C/N. A mineralização do N orgânico processa-se por diversas etapas e as reações, promovidas por microrganismos, culminam com a formação do NO_3^- . O primeiro passo na decomposição de compostos orgânicos nitrogenados é a aminização, promovida por microrganismos heterotróficos que necessitam de carbono como fonte de energia. A reação pode ser representada por:

nos processos de mineralização, a M.O. é destruída pelos microrganismos (RAIJ, 1991). Dependendo da composição do resíduo vegetal, a taxa de mineralização durante o ano agrícola pode ser muito baixa (KIEHL, 1987).

2.4.2 Amonificação

O N fixado é rapidamente dissolvido na água do solo, ficando disponível para as plantas que transformam o NO_3^- em moléculas orgânicas nitrogenadas, necessária à vida. Iniciando assim o processo de amonificação (LESSA et al, 2007) que é a conversão do N orgânico em NH_4^+ . Pode ser realizado por muitos microrganismos quimiorganotróficos, tanto em condições aeróbicas como anaeróbicas (RAIJ, 1991).

Quando os decompositores atuam sobre a M.O. nitrogenada, liberam resíduos para o meio ambiente, entre eles a amônia. Combinando-se com a água do solo, a amônia forma hidróxido de amônio que ionizando, produz NH_4^+ e hidroxila (OH^-):

Ao processo de decomposição em que compostos orgânicos nitrogenados se transformam em amônia ou NH_4^+ , denomina-se aminização. Após a amonificação, o primeiro produto da decomposição de proteínas e aminoácidos da M.O. é o NH_4^+ . Em condições favoráveis ao crescimento das plantas, a maior parte do NH_4^+ do solo se converte em NO_3^- pela ação de bactérias nitrificantes. Esse processo denomina-se nitrificação e produz acidez no solo devido à liberação de íons hidrogênio (MELGAR et al, 1999).

2.4.3 Imobilização

O processo de imobilização é favorecido em solos com relação C/N em torno de 10, geralmente encontrada em solos cultivados bem drenados ou quando são incorporados ao solo restos orgânicos frescos de relação C/N elevada (RAIJ, 1991).

A maior imobilização microbiana ocorre nas camadas superficiais do solo sob sistema de plantio direto (VARGAS e SCHOLLES, 1998). Pode ser suficientemente elevada para, isoladamente, afetar a absorção de N pelas plantas. Se por um lado a biomassa microbiana imobiliza o N, por outro pode se constituir em uma fonte potencialmente mineralizável. Os nutrientes imobilizados pela comunidade microbiana podem atingir valores elevados, mas a sua reciclagem e liberação é mais rápida do que as de outras frações da M.O. do solo. À medida que ocorre a morte dos microrganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microrganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização (MARY et al, 1996). Tal processo pode suprir uma quantidade significativa de N para as plantas (BONDE et al, 1988).

2.4.4 Nitrificação

A nitrificação é considerada de extrema importância para a qualidade das águas (VICTÓRIA et al, 1992). O processo ocorre em duas fases: na primeira dá-se a transformação do NH_4^+ em nitrito, realizado por bactérias autotróficas, conhecidas como Nitrosomonas (equação 4). Na segunda fase da nitrificação ocorre a oxidação de nitrito a NO_3^- (equação 5). As bactérias envolvidas nesse processo também são autotróficas obrigatórias denominadas de Nitrobacter. A nitrificação é favorecida por temperaturas entre 30 a 25°C, umidade de 50 a

70% da capacidade de campo e pH de 6,6 a 8,0. Neste processo ocorre a liberação de íons hidrogênio, resultando na acidificação do solo quando fertilizantes orgânicos e amoniacais são convertidos a NO_3^- (TISDALE e NELSON, 1970).

Organismos heterotróficos também realizam nitrificação, no entanto em taxas menores que as realizadas pelos autotróficos (SAHRAWAT, 2008). Durante o processo de oxidação do NH_4^+ e nitrito pode haver pequena produção de óxido nitroso (N_2O) por dismutação química do nitroxil (N-OH) ou por ação de redutase de nitrito (DAVIDSON et al, 2000).

2.4.5 Desnitrificação

A desnitrificação ocorre quando o N existente no solo na forma de NO_3^- transforma-se em formas gasosas. O NO_3^- é reduzido, por ação dos microorganismos, a óxido nitroso ou a N elementar (N_2) (equação 6 e 7), ambos gases que se perdem para a atmosfera. Ocorrem em condições de excesso de umidade no solo, levando a falta de oxigênio. Com a presença de M.O. fresca, serve como fonte de energia para as bactérias responsáveis pelo processo (RAIJ, 1991).

O produto final da nitrificação e da desnitrificação depende do conteúdo de água no solo e do pH (VERCHOT et al, 1999). Em condições intermediárias de umidade a nitrificação deve dominar, mas quando estas condições são elevadas, haverá o predomínio da desnitrificação, com emissão de óxido nitroso (CORRELL, 1997).

2.5 Lixiviação de nitrato e amônio na cultura do milho

A lixiviação pode ser definida como a translocação de sais solúveis que ocorre através do fluxo descendente de água no perfil do solo (KIEHL, 1987) sendo afetada por fatores físicos e químicos. Nutrientes com alta mobilidade como o N atingem o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém, se perdem facilmente por lixiviação (AULAKH et al, 2000).

Dos fertilizantes nitrogenados, o NO_3^- no solo resulta da aplicação ou da mineralização da M.O., mas quando na solução do solo não é imobilizado pela microbiota podendo ser facilmente lixiviado (PRIMAVESI et al, 2006). Já o N na forma de NH_4^+ tem a lixiviação

reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo (SPARKS, 1995). A lixiviação do N ocorre em ordem decrescente para $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{N orgânico}$.

Gava (2003) avaliando a recuperação do fertilizante nitrogenado no solo encontrou 40, 43, 34 e 19 de kg ha^{-1} de N para as doses de 75, 125, 175 e 225 kg ha^{-1} de N e Silva (2005) em um Latossolo Vermelho distrófico alcançou uma média de aproveitamento de 49% para as doses de 80, 130 e 180 kg ha^{-1} de N. Observa-se que na maioria dos trabalhos existe uma grande variação no aproveitamento de N do fertilizante pelo milho, raramente ultrapassando 50% do aplicado como fertilizante inorgânico (SCIVITTARO et al, 2003).

Gollany et al, (2005) estudando doses de N em solos argilosos, encontraram valores médios de NO_3^- lixiviado de 32 e 78 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ quando aplicaram doses de 20 e 200 kg ha^{-1} de N em milho, respectivamente. A lixiviação é prejudicial tanto por razões econômicas como ambientais, podendo diminuir a produtividade dos ecossistemas e contribuir para a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, pois a parte não utilizada pelas plantas pode permanecer no solo, ser incorporada como MO ou ser drenada pela zona radicular (LIBARDI et al, 1982).

2.6 Retenção de nitrato e amônio no solo

A capacidade de retenção de N é influenciado pela textura do solo. Os solos argilosos possuem maior capacidade de retenção do que os arenosos, especialmente na forma amoniacal. A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, conseqüentemente, o arraste de N para camadas inferiores do solo (BORTOLINI, 2000). Além da textura, o teor de MO pode interferir na lixiviação de N, em função da maior disponibilidade decorrente da decomposição da MO quando a área não está sendo cultivada.

Prevedello (1996) destaca que a capacidade de retenção é particularmente acentuada nos solos argilosos e altamente intemperados como os Latossolos. Estes por possuírem uma mineralogia que desenvolve tanto cargas positivas como negativas, possuem a capacidade de reter os principais ânions e cátions presentes em solução que possam vir a percolar no perfil do solo, podendo-se utilizar o potencial de retenção de água no solo como agente de estocagem natural e liberação lenta às nascentes e fontes dos cursos de água e lençóis subterrâneos.

Phillips e Burton (2005) em experimento com Espodossolo Cárbico hidromórfico observaram a tendência do cátion NH_4^+ ficar mais retido na camada inferior do solo e justificaram tal fato pela preferência da MO reter os cátions multivalentes, já que, quanto aior

a profundidade menor a presença de MO. Também em elevadas adições de água, a taxa de lixiviação dos íons é maior em solos arenosos, tornando a umidade um fator determinante na lixiviação e na variação da distribuição de nutrientes nos solos.

Eriksen et al, (2008) avaliaram a lixiviação do NO_3^- no cultivo do azevém e verificaram que o NO_3^- é móvel no perfil do solo, e essa mobilidade é maior no sistema de plantio direto, onde a evaporação da água é menor, lixiviando solução para as camadas mais profundas.

2.7 Problemas associados ao excesso de nitrato e amônio na água

A contaminação dos mananciais hídricos através das perdas de NO_3^- e NH_4^+ na água necessitam ser quantificadas para permitir adequado desenvolvimento econômico e sustentável no meio das praticas agrícolas (BAKSH et al, 2000).

O NO_3^- em concentrações elevadas está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução da metaemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação de nitrosaminas carcinogênicas (BOUCHARD et al, 1992). A metaemoglobinemia é uma doença em que o nitrito se liga a molécula de hemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio para as células do organismo, resultando em cianose, anoxia cerebral e morte. As nitrosaminas surgem como produto da reação entre o nitrito ingerido ou formado pela redução bacteriana do NO_3^- , e as aminas secundárias ou terciárias e amidas presentes nos alimentos (AWWA, 1990) e estão relacionadas ao aparecimento de tumores em animais de laboratório.

O NH_4^+ acima do limite recomendado pelos órgãos regulamentadores pode prejudicar a vida aquática, sendo tóxico para alguns organismos. Embora seja um nutriente necessário a vida, em excesso pode acumular-se no organismo e causar alteração do metabolismo. Nos peixes, as alterações podem ocorrer no tecido, fígado e rins, causando hiperexcitabilidade, aumento da atividade respiratória e problemas cardíacos. Em níveis extremos, podem apresentar convulsões e até a morte (OGERA, 1995).

A primeira normatização da qualidade da água para consumo humano no Brasil foi a Portaria nº. 56/1977 iniciada na década de 1970, sob a responsabilidade do Ministério da Saúde (LIMA, 2008). A primeira revisão ocorreu no final da década de 80 com a participação da Vigilância Sanitária e dos Laboratórios de Saúde Pública que forneceram subsídios à nova Portaria de nº. 36/GM/90. Esta estipulou para o parâmetro N na forma de NO_3^- o valor máximo permitido 10 mg L^{-1} (BRASIL, 2005). Dez anos depois a mesma portaria foi revisada, originando a Portaria de nº. 1.469/MS/2000, mantendo o mesmo padrão. Em março de 2004, a mesma foi substituída pela Portaria nº. 518/2004/MS, que reproduziu o conteúdo

da Portaria nº. 1.469 (BRASIL, 2005). Nos Estados Unidos, os padrões de água potável são estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA, 2009), com o mesmo valor de 10 mg L^{-1} . Na Europa, os parâmetros relativos à qualidade da água na Diretiva 98/83/CE estabelecidos pela União Européia (1998) é de 50 mg L^{-1} .

É importante considerar que havendo a presença de NO_3^- na água, mesmo em concentrações consideradas baixas, além de indicar que a contaminação é antiga no ambiente, revela a presença de M.O. associada a bactérias, vírus e parasitas (LIMA, 2008). Este padrão estabelecido de 10 mg L^{-1} (BRASIL, 2004) é uma situação limite, um alerta de segurança para a saúde das pessoas. Bouchard et al, (1992) consideram que concentrações superiores a 3 mg L^{-1} de NO_3^- já indicam contaminações por atividades antropogênicas.

Para o N-amoniaco total (NH_3 e NH_4), o CONAMA através da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) admite valores de acordo com a classe e o pH das águas superficiais. Para a água doce classe especial (classe 1 e 2) estes valores são: $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para $\text{pH} \leq 7,5$; $2,0$ para pH entre 7,5 e 8,0; $1,0$ para pH entre 8,0 e 8,5; $0,5$ para $\text{pH} \geq 8,5$. Já o Ministério da Saúde, através da Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004) admite para consumo humano até $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ de NH_3 , o que equivale a $1,24 \text{ mg L}^{-1}$ de N- NH_3 .

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral e localização da área experimental

Os Campos Gerais situam-se na porção centro-leste do Estado do Paraná (Figura 1). Apresentam 11.761,41 km² de extensão e coordenadas 26°15' de latitude sul e 50°45' de longitude oeste. Abrange pelo menos parte de vinte e dois municípios: Rio Negro, Campo do Tenente, Lapa, Porto Amazonas, Balsa Nova, Palmeira, Campo Largo, Ponta Grossa, Teixeira Soares, Imbituva, Ipiranga, Tibagi, Carambeí, Castro, Imbaú, Telêmaco Borba, Ventania, Piraí do Sul, Jaguariaíva, Sengés, Arapoti e São José da Boa Vista.

A área escolhida para este estudo localiza-se no município de Ponta Grossa. O município apresenta altitude média de 975 metros, latitude sul de 25°09' e longitude oeste de 50°16' e a área total é aproximadamente de 2.112,6 km².

A pedossequência escolhida é representativa dos Campos Gerais, onde predomina o sistema de plantio direto, sendo a região pioneira nesta atividade. A pedossequência apresenta forma radial longitudinal escultural e está inserida nos folhelhos da formação Ponta Grossa, dividida em três classificações de solos (Figuras 2, 3 e 4). A área encontra-se na propriedade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Escritório de Negócios – Transferência de Tecnologia, localizada no município de Ponta Grossa – Paraná (Figura 5).

Figura 1 - Localização dos Campos Gerais do Paraná. 1: Serra Geral; 2: Escarpa Devoniana; 3: Extensão dos Campos Gerais

Figura 2 – Posições dos solos na paisagem e diferentes regimes hídricos: não-hidromórfico (NH), semi-hidromórfico (SH) e hidromórfico (H)

Figura 3 - Cabeceira de drenagem, localizada na área da Embrapa – Escritórios de Negócios, localizado no município de Ponta Grossa – Paraná

Figura 4 - Cabeceira de drenagem, localizada na área da Embrapa – Escritórios de Negócios, localizado no município de Ponta Grossa – Paraná

Figura 5 – Mapa da área estudada

3.1.1 Clima

A classificação climática da região, segundo Köppen, é subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, sem estação seca e inverno com geadas severas. O regime térmico é relativamente constante. A temperatura média anual fica entre 17° e 18° C, com uma média mínima entre 13° e 14° C e uma máxima entre 24° e 25° C. A média mensal varia entre 13° e 14° C no mês mais frio (julho) e um pouco abaixo de 22° C no mês mais quente (janeiro)

(MAACK, 1981). A precipitação média é de 1.712 mm anuais para o período de 2000-2010 (Figura 6). As condições climáticas da região são ótimas para a produção de sementes, tanto de espécies de verão quanto de inverno (frio).

Figura 6 – Precipitação pluvial correspondente aos anos de 2000 a 2010

3.1.2 Geologia

A maior parte do folhelho de formação Ponta Grossa está inserido no segundo planalto paranaense, incluindo uma parte do primeiro e do terceiro planaltos (MAACK, 1968). O primeiro trabalho sobre o assunto foi o de Clarke (1913) descrevendo os 80 metros de folhelhos fossilíferos da Formação Ponta Grossa nos arredores do município. A segunda fase dos trabalhos ocorreu no Século XX, com Lange e Petri (1967) e Candido (2007), mostrando a formação Ponta Grossa constituída, em superfície, por folhelhos, folhelhos silticos, siltitos e arenitos. Em subsuperfície foram identificados folhelhos pretos, carbonosos e finamente laminados, apontando a existência de condições locais com maior restrição no ambiente deposicional (SILVA, 2006).

Os membros da formação Ponta Grossa foram divididos por Lange e Petri (1967), da base para o topo, como Jaguaraíva, Tibagi e São Domingos, respectivamente. Segundo Fúlfaro et al (1980) os membros inferior e o superior são, predominantemente, constituídos de siltico-argilosos, enquanto o membro médio é por arenitos de granulometria muito fina.

O membro Jaguaraíva é a unidade basal da Formação Ponta Grossa, constituindo um conjunto homogêneo de folhelhos silticos de cor cinza média para escura (LANGE e PETRI, 1967). Os maiores teores de MO (folhelhos negros) estão situados na porção média da unidade e constituem uma importante camada geradora de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná (PETRI e FÚLFARO, 1983; HORNES, 2006).

O membro médio Tibagi é formado por arenitos sílticos muito finos, com espessura de aproximadamente 35 metros. As estruturas e a geometria dos corpos sedimentares sugerem o aporte de sedimentos mais grossos (HORNES, 2006). Cândido e Rostirolla (2008) argumentaram sobre a possibilidade de a parte basal compreender um trato de sistemas de mar alto. Por outro lado, a parte superior deste membro, que congrega corpos arenosos corresponderia a um trato similar aos sistemas de margem de plataforma.

O topo da Formação Ponta Grossa, Membro São Domingos, é constituído por folhelhos laminados de cor cinza, às vezes intercalados com camadas de arenitos finos, semelhante ao Membro Jaguariaíva, predominantemente argiloso, com rochas escuras e localmente betuminosas (PETRI e FÚLFARO, 1983).

3.2 Procedimento metodológico

3.2.1 Solos selecionados

Os solos foram divididos em três classes de regimes hídricos e classificados de acordo com Embrapa (2006), como: Latossolo Bruno Distrófico rúbico (solo não-hidromórfico), Cambissolo Húmico Distrófico gleissólico (solo semi-hidromórfico) e Gleissolo Melânico Tb Distrófico típico (solo hidromórfico). O Gleissolo encontra-se no início da depressão da planície, o Cambissolo está distante 210 metros do Gleissolo e o Latossolo está distante 640 metros do Gleissolo.

O Latossolo e o Cambissolo representam a maior parte da área estudada, com 94,26 ha, com predomínio do cultivo do milho, soja e aveia, enquanto o Gleissolo representa a menor parte da área, com 40 ha. O histórico da safra dos últimos 10 anos encontra-se na tabela 1.

Tabela 1 – Utilização das áreas analisadas nos últimos 10 anos (continua)

Ano	LATOSSOLO e CAMBISSOLO		GLEISSOLO	
	inverno	verão	inverno	verão
2002/2003	trigo 208	soja 231	trigo	milho HS 208 milho rotação
2003/2004	pousio aveia 9506	milho rotação	pousio/manejo	soja rotação (BR-16)
2004/2005	pousio/aveia nativa	soja semente 232	trigo BRS 229	soja rotação BR 16
2005/2006	trigo semente	soja 246 RR consumo	aveia cobertura	milho HS 200

Tabela 1 – Utilização das áreas analisadas nos últimos 10 anos.

Ano	LATOSSOLO e CAMBISSOLO		GLEISSOLO	
	inverno	verão	inverno	verão
2006/2007	manejo/pousio	milho consumo	manejo / pousio	BRS 133 BRS 260 soja consumo BRS 232
2007/2008	manejo/pousio	soja semente	trigo sem. aveia Emb 140	soja consumo RR
2008/2009	trigo semente trigo consumo	BRS 242 RR	aveia	milho consumo
2009/2010	aveia cobertura	milho rotação	vegetação nativa	vegetação nativa
2010/2011	aveia manejo / pousio	soja conv. semente	vegetação nativa	vegetação nativa
2011/2012	trigo semente	soja RR semente + soja rotação	vegetação nativa	vegetação nativa

3.3 Descrição morfológica dos solos

Na pedossequência analisada foram efetuados os levantamentos de solos, partindo-se da porção alta da vertente até a planície de inundação. Foi efetuada a classificação dos solos (ANEXO B) de acordo com Embrapa (2006).

3.4 Coleta das amostras

A caracterização física dos solos foi realizada por meio da abertura de trincheiras para o Latossolo e o Cambissolo, divisão dos horizontes pedológicos, descrição morfológica, coleta dos solos em colunas indeformadas e amostras à granel. No Gleissolo não foi possível realizar a coleta de amostras na última profundidade (0,5-1,0 m) devido à saturação hídrica permanente.

Para cada solo, foram coletadas colunas de solos, com 5 repetições na superfície (0-0,5 m) e três repetições na subsuperfície (0,5-1,0 m), totalizando 21 colunas destinadas ao estudo da lixiviação dos íons NO_3^- e NH_4^+ . As colunas utilizadas são de material PVC, com 0,50 m de altura, 0,075 m de diâmetro interno e 0,09 m de espessura de parede. As coletas foram realizadas utilizando-se um amostrador (Figuras 7 e 8), conectado à tomada de força de um trator New Holland TL 75E.

Figura 7 – Abertura da trincheira

Figura 8 – Coleta da coluna de solo em subsuperfície

Após as coletas, as colunas foram embaladas em sacos plásticos e acondicionadas na posição vertical em caixas forradas com placas de isopor, para que durante o transporte não ocorressem alterações na estrutura do solo. Estas foram levadas ao laboratório de química ambiental do departamento de ciências exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), no município de Piracicaba - São Paulo para a instalação do experimento.

3.5 Preparação das colunas e experimento no laboratório

As colunas foram fixadas no suporte de alumínio confeccionado para o experimento (Figura 9). Embaixo de cada coluna foram colocados frascos plásticos para a coleta do lixiviado. Cada frasco foi identificado com o número da coluna de solo e a data de coleta (Figura 10). A extremidade superior das colunas foram cobertas com plástico para que o solo da superfície não ressecasse, sendo este retirado apenas no momento da aplicação de água. Na parte inferior foi colocado um tecido fino preso com elástico, encaixado no funil, para evitar perdas de material da amostra.

Diariamente água destilada e deionizada era adicionada no período da manhã (8:00 horas) e, no período da tarde (14:00 horas), recolhidos os frascos da água lixiviada, cujo volume era quantificado. As amostras de água eluída eram armazenadas em refrigerador até o momento das análises.

Os dados do volume de água lixiviada encontram-se no ANEXO J.

Figura 9 - Colunas de solo no suporte de alumínio

Figura 10 – Detalhe dos frascos com conteúdo lixiviado

As colunas coletadas no campo foram levadas ao laboratório e antes de simular a precipitação pluvial, foi aplicado um volume total de 500 mL de água destilada e deionizada para obtenção das amostras em branco. Este volume de água foi dividido em cinco aplicações diárias de 100 mL de água em cada coluna. A aplicação foi feita com uma proveta, adicionando a água na parte superior de cada coluna, saturando-as, assim, de cima para baixo. Depois desta etapa foram aplicados 100 mL de água diariamente até completar um volume total de 3464 mL, equivalente a precipitação pluvial que ocorre na área. Assim, o experimento durou 40 dias, 35 dos quais destinados à aplicação da água simulando a precipitação pluvial e mais cinco dias de adição de água para obtenção das amostras em branco. A quantidade de água aplicada corresponde à média da precipitação pluvial últimos 10 anos que ocorreu na região (Figura 6).

A primeira dose de adubo aplicada foi 554 mg de ureia em cada coluna. No décimo terceiro dia do experimento foram aplicados 370 mg de NPK (8-25-15), sendo que o N aplicado estava na forma de sulfato de amônio.

Após o término do experimento de lixiviação, as colunas foram retiradas do suporte de alumínio e congeladas. Depois foram levadas para o laboratório de mecânica e máquinas agrícolas do Departamento de Engenharia de Biossistemas, onde foram fracionadas em cinco partes de 0,10 m cada coluna para acompanhamento do NO_3^- e o NH_4^+ retido nos solos (Figuras 11 e 12).

Figura 11 – Fracionamento da coluna de solo

Figura 12 – Detalhe do fracionamento da coluna de solo

3.6 Trabalhos de Laboratório

As amostras de solo coletadas no campo, antes da adição da ureia e NPK, após procedimentos cadastrais no laboratório, foram secas ao ar, destorroadas e, em seguida, tamisadas em malha com abertura de 2,0 mm de diâmetro para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

3.6.1 Análises químicas dos solos

A caracterização química dos três solos foi realizada nas amostras, em triplicata, coletadas das camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade. As amostras foram analisadas quanto a: $\text{pH}_{\text{água}}$, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, $\text{H}+\text{Al}$ (obtido pelo pH SMP), carbono orgânico (método colorimétrico), alumínio (Al) (extraído com KCl), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (método da resina) e fósforo (P) (método colorimétrico). As análises foram feitas nos laboratórios de fertilidade do solo e análise química em solos do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, conforme metodologia descrita em Raij (1991).

Os resultados das análises químicas encontram-se na tabela 2.

Tabela 2- Análises químicas do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade, média das triplicatas

Solo	pH (água)	pH (CaCl ₂)	ΔpH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	M.O.	SB	CTC	CTA	V%	m%
				cmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					
Profundidade (0-0,1 m)															
Lat	5,1	5,7	0,6	15,6	0,2	0,9	0,6	0,6	0,6	42,5	2,1	17,7	0,02	11,9	8,3
Camb	6,0	6,3	0,3	12,8	0,1	0,7	1,3	0,3	0,2	40,8	2,3	15,1	0,03	15,5	4,0
Glei	6,0	4,8	-1,2	30,2	0,8	1,1	0,9	0,7	0,0	101,2	2,7	32,9	0,20	8,1	23,9
Profundidade (0,1-0,2 m)															
Lat	5,7	5,3	-0,4	14,4	0,1	0,2	0,7	0,6	0,5	35,0	1,5	15,9	0,02	9,4	4,4
Camb	5,8	4,6	-1,2	18,8	0,4	1,4	0,4	0,2	0,1	37,9	1,9	20,8	0,02	9,4	17,1
Glei	4,4	4,3	-0,13	31,3	1,4	1,6	0,2	0,2	0,0	60,5	2,0	33,4	0,09	6,2	39,6
Profundidade (0,2-0,3 m)															
Lat	6,4	5,5	-0,9	11,7	0,1	0,1	0,8	0,5	0,1	33,2	1,4	13,1	0,02	10,6	7,7
Camb	5,9	5,9	-0,1	22,0	0,5	1,3	0,5	0,2	0,0	32,4	1,9	23,9	0,02	8,0	19,9
Glei	6,6	4,5	-2,1	31,8	1,3	1,7	0,1	0,1	0,0	51,3	1,9	33,7	0,03	5,5	41,3
Profundidade (0,3-0,5 m)															
Lat	5,9	5,7	-0,2	13,2	0,1	0,9	0,6	0,3	0,0	22,1	1,9	15,1	0,02	12,5	5,5
Camb	5,6	3,8	-1,8	22,8	0,5	1,4	0,3	0,1	0,0	30,3	1,8	24,7	0,02	7,5	22,6
Glei	5,7	3,7	-2,0	31,8	1,3	1,7	0,1	0,1	0,0	33,5	1,8	33,7	0,04	5,5	41,3
Profundidade (0,5-1,0 m)															
Lat	5,6	5,3	-0,3	13,9	0,12	1,6	0,5	0,1	0,0	13,6	2,2	16,2	0,03	13,5	5,1
Camb	5,5	4,5	-1,0	20,5	0,1	1,8	0,5	0,0	0,0	12,3	2,4	22,9	0,13	10,3	4,7

$\Delta\text{pH} = \text{pH}(\text{água}) - \text{pH}(\text{KCl})$; $\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$; $\text{CTC} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$; $\text{V}\% = 100 \cdot \text{SB} / \text{CTC}$; $\text{m}\% = (\text{Al}^{3+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Al}^{3+})) \cdot 100$

3.6.2 Análises físico-hídricas dos solos

Para as análises granulométricas foram coletadas amostras deformadas, em triplicata, das camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m. As análises foram

realizadas no laboratório de química e física dos solos, da Embrapa Florestas, Colombo-Paraná. Para determinação das porosidades (macro, micro e total) dos solos foram feitas coletas de amostras em anéis volumétricos de 58 mm de diâmetro e 30 mm de altura também das camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade. Os procedimentos foram realizados conforme metodologia da Embrapa (1997). Os resultados das análises encontram-se na tabela 3.

As distribuições granulométricas não apresentaram grandes variações em profundidade para o Latossolo e Cambissolo. O Latossolo apresenta textura argilosa na camada de 0-0,2 m e textura argilo-arenosa nas demais. O Cambissolo foi classificado como argilo-arenoso em todas as profundidades, sendo os dois solos predominantemente argilosos. O Gleissolo apresentou maiores variações ao longo do perfil. Na camada de 0-0,1 m foi classificado como franco-arenoso; 0,1-0,2 m e 0,3-0,5 m como areia- franca; 0,2-0,3 m como franco-argilo-arenoso, sendo, portanto, predominantemente arenoso.

Tabela 3 - Análises físicas do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade, média das triplicatas

Solo	AG	AF	S	Arg	PT	Macro	Micro
	(g kg ⁻¹)			cm ³ cm ⁻³			
Profundidade 0,0 - 0,1 cm							
Lat	256	253	117	375	0,6	0,2	0,4
Camb	301	199	124	376	0,6	0,1	0,4
Glei	469	168	266	97	0,9	0,8	0,1
Profundidade 0,1 - 0,2 cm							
Lat	213	228	133	413	0,5	0,1	0,4
Camb	288	199	140	372	0,5	0,1	0,4
Glei	440	386	69	106	0,9	0,9	0,1
Profundidade 0,2 - 0,3 cm							
Lat	251	234	120	395	0,5	0,1	0,4
Camb	282	194	123	400	0,6	0,1	0,5
Glei	390	348	41	217	0,9	0,8	0,1
Profundidade 0,3 - 0,5 cm							
Lat	227	255	130	388	0,6	0,1	0,4
Camb	294	207	122	376	0,6	0,1	0,4
Glei	534	257	116	93	0,8	0,8	0,1
Profundidade 0,5 - 1,0 cm							
Lat	240	226	99	435	1,0	0,2	0,2
Camb	289	192	110	410	0,5	0,1	0,4

AG: Areia grossa; AF: areia fina; S: silte, Arg: argila; PT: porosidade total; macro: macroporosidade; micro: microporosidade

3.6.3 Densidade do solo nas colunas

A densidade do solo (D_s) nas colunas foi realizada no laboratório de física do solo do departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. As amostras foram retiradas do tubo de PVC, depois de serem fatiadas em anéis de 0,1 m. Os solos foram secos ao ar em formas de alumínio (Figura 13) e posteriormente realizado o cálculo do volume dos anéis. Depois de secas ao ar, as amostras foram peneiradas e pesadas. Retirou-se então uma alíquota do solo de cada bandeja para determinação do conteúdo de água a base de massas das amostras. Com a massa de solo seco e o volume dos anéis calculados, determinou-se a D_s . Os dados de D_s do solo das colunas encontram-se no ANEXO F.

Figura 13 – Secagem das amostras de solo para determinação da densidade

3.6.4 Quantificação colorimétrica de NO_3^-

Em laboratório, foram determinadas as concentrações de NO_3^- nas amostras de água lixiviada e solos coletados a campo e proveniente das colunas. Para as amostras de solo, foi feita a extração de NO_3^- , utilizando KCl 1 mol L^{-1} , na relação solo:extrator de 1:10. Após agitação em agitador horizontal, por 60 minutos, o extrato foi obtido por filtragem, utilizando-se papel de filtro, retirando uma alíquota de 40 mL do extrato. O NO_3^- , presente no extrato, foi determinado utilizando-se a metodologia do método colorimétrico do salicilato, proposta por Yang et al, (1998).

3.6.5 Análise por injeção em fluxo (FIA) do NH_4^+

Em laboratório, foram determinadas as concentrações de NH_4^+ nas amostras de água lixiviada e solos das colunas e coletadas a campo. Nas amostras de água lixiviada, as leituras de NH_4^+ eram realizadas diretamente no frasco do lixiviado coletado. Para as amostras de solo, foi feita a extração prévia de NH_4^+ , utilizando KCl 1 mol L^{-1} , na relação solo:extrator de 1:10. O sistema utilizado foi o FIA (Análise de Injeção em Fluxo) (KAMOGAWA E TEIXEIRA, 2009).

3.7 Análise dos dados

Os resultados das análises químicas e físico-hídricas dos solos, volume de água, NH_4^+ e NO_3^- lixiviados, NH_4^+ e NO_3^- nos solos coletados a campo antes da adição da ureia e NPK e NH_4^+ e NO_3^- retidos no solo das colunas, após a adição de ureia e NPK foram submetidos a análise de variância com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre os solos estudados pelo procedimento ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando o SAS (System for Windows V8; SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volume de água eluído

A tabela 4 apresenta os valores médios do volume (L) de água eluído das colunas para os três solos: Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m) em três períodos do experimento: branco (sem adição de ureia e NPK), ureia e NPK.

Tabela 4 - Valores médios do volume (L) de água eluído das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m)

Solos	Volume (L)		
	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	NPK (15/07 a 10/08)
	Superfície		
Latossolo	0,059 a	0,080 a	0,075 a
Cambissolo	0,010 b	0,023 b	0,035 b
Gleissolo	0,067 a	0,079 a	0,082 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O Latossolo e o Gleissolo não apresentaram diferença estatística para o período branco, antes da adição da ureia e do NPK, ao contrário do Cambissolo que apresentou um volume de eluição estatisticamente menor. A mesma tendência ocorreu para os demais períodos (ureia e NPK), em que o Cambissolo apresentou volume menor em relação aos demais.

O Latossolo apresentou um volume de eluição maior em relação ao Cambissolo, embora na camada de 21 cm até 31 cm apresente compactação devido à atividade agrícola, conforme a descrição morfológica dos solos (ANEXO B1). Os Latossolos, geralmente são bem drenados, bem estruturados, porosos e profundos, com pequena diferenciação entre os horizontes (EMBRAPA, 2006). O Cambissolo encontra-se compactado entre 20 e 30 cm e adensado em 40 cm de profundidade (ANEXO B2), tornando-se mal drenado, com impedimento ao enraizamento e inadequado para grande parte das culturas (SÁ, 2007).

O Gleissolo, com volume de eluição estatisticamente igual ao Latossolo para os três períodos, apresenta permeabilidade muito alta nos horizontes superficiais devido às suas características fíbricas, as quais possuem as menores Ds, maior macroporosidade e aeração e, provavelmente, boa conectividade dos poros (CURCIO, 2006). Embora com volume de eluição estatisticamente igual ao Latossolo, o maior volume de água eluído para o Gleissolo era esperado pelo maior teor de areia em relação aos outros dois solos analisados. A importância relativa na retenção de água depende da textura do solo, quanto mais arenosa, a retenção de água é mais sensível à quantidade de MO do solo, quando comparada a solos de textura mais fina.

A tabela 5 apresenta os valores médios do volume (L) de água eluído das colunas para os três solos: Latossolo e Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) em três períodos do experimento: branco (sem adição de ureia e NPK), ureia e NPK.

Tabela 5 - Valores médios do volume (L) de água eluído das colunas de Latossolo, Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m)

Volume (L)			
Solos	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	NPK (15/07 a 10/08)
Subsuperfície			
Latossolo	0,045 a	0,062 b	0,055 b
Cambissolo	0,040 a	0,082 a	0,084 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O Latossolo e o Cambissolo não apresentaram diferenças estatísticas para o período branco, mas nos dois outros períodos diferenciaram-se entre si quanto ao volume de água eluído. Ao contrário dos solos das colunas de superfície, o Cambissolo de subsuperfície apresentou maior volume de água eluída. O Latossolo apresentou na subsuperfície muitos poros nos horizontes Bw_1 e Bw_2 (ANEXO B1), representando os solos de maior potencial agrícola e estabilidade ambiental na área dos Campos Gerais por serem profundos, bem estruturados e de elevada permeabilidade (Sá, 2007). O Cambissolo apresentou no horizonte B_{ig} poros grandes (ANEXO B2), justificando o alto volume de água eluída.

4.2 Lixiviação de amônio

A figura 14 apresenta a concentração (mg/L) de NH_4^+ lixiviado nas colunas de 0-0,5 m de profundidade do Latossolo tratado com ureia e NPK (8-25-15), submetidos a percolações com água destilada.

Figura 14 - Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Latossolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

Levando-se em consideração que a ureia foi aplicada no sexto dia do experimento, o pequeno pico que aparece neste dia (Figura 14) deve ser devido ao NH_4^+ existente no solo. Como o NPK foi adicionado nove dias após a aplicação da ureia, na décima quinta percolação, os teores de NH_4^+ lixiviados devem ser provenientes não somente do NPK aplicado, mas também da ureia que demorou alguns dias para ser lixiviado. Observa-se que antes da aplicação da ureia e NPK, cinco primeiras aplicações, a concentração média de NH_4^+ foi de 0,020 mg/L diariamente. Após a adição da ureia, a concentração média foi de 1,450 mg/L por dia e após a adição do NPK a concentração média elevou-se para 16,430 mg/L por dia. Observa-se que após a adição do NPK a concentração média esteve muito acima do limite preconizado pelos órgãos regulamentadores (BRASIL, 2005) que sugere o valor de 3,7 mg/L. Considerando o total lixiviado durante os 40 dias de experimento, área sob a curva da Figura 14, a quantidade (mg) total de NH_4^+ lixiviada foi 35,090 mg, com 2,910 L de água eluída.

A figura 15 apresenta a concentração (mg/L) de NH_4^+ lixiviado na coluna de 0-0,5 m de profundidade do Cambissolo tratado com ureia e NPK (8-25-15), submetido a percolações com água destilada.

Figura 15 - Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Cambissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

A quantidade (mg) de NH_4^+ lixiviada no Cambissolo (área sob a curva da Figura 15) foi 32,280 mg, com um volume de água eluído de 1,250 L.

Para a concentração de NH_4^+ lixiviado, o período que antecedeu a aplicação dos fertilizantes nitrogenados (uréia e NPK), apresentou uma concentração de 0,230mg/L. Com a aplicação da ureia, a concentração aumentou para 6,360 mg/L e com a adição do NPK a concentração foi de 30,360 mg/L por dia, valor muito superior ao sugerido pela legislação brasileira, de 3,7 mg/L.

A figura 16 apresenta a concentração (mg/L) de NH_4^+ lixiviado do Gleissolo na profundidade de 0,5 m tratado com ureia e NPK (8-25-15), submetido a percolações com água destilada.

Figura 16 - Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Gleissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

Na coluna de 0-0,5 m de profundidade do Gleissolo, a quantidade de NH_4^+ lixiviado (área sob a curva da Figura 16) foi de 12,860 mg e o volume de eluição de água, 3,290 L. À semelhança dos outros solos, após a aplicação da ureia os valores foram baixos para as oito primeiras percolações. Com o comportamento apresentado nas últimas lixiviações, pode-se afirmar que se a adição de água continuasse, o valor continuaria praticamente constante, ao contrário dos outros dois solos, estando à lixiviação do NH_4^+ relacionada com a capacidade de retenção de água e sua taxa de movimentação no solo (SUHET et al, 1986).

A média diária de NH_4^+ lixiado antes da aplicação dos fertilizantes nitrogenados foi de 0,050 mg/L e após a adição da ureia a concentração foi de 0,470 mg/L. Após a aplicação do NPK a concentração aumentou para 7,160 mg/L por dia, o dobro do sugerido pela legislação. Segundo Bottcher et al, (1981), a perda de N em subsuperfície é maior em solos com maiores teores de areia, como o Gleissolo, acentuando os riscos que podem ser causados aos mananciais.

A figura 17 apresenta concentração (mg/L) de NH_4^+ lixiviado da coluna de 0,5-1,0 m de profundidade do Latossolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetidos a percolações com água destilada.

Figura 17 - Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Latossolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de três repetições

À semelhança do que ocorreu com o mesmo solo de superfície (Figura 14), o Latossolo de subsuperfície apresentou maiores teores de NH_4^+ na água a partir da décima quarta lixiviação (Figura 17), sendo crescentes nas seguintes e praticamente constantes nas três últimas. A ureia aplicada não foi lixiviada de imediato, e sim, três dias após a aplicação do NPK e a quantidade total lixiviada foi de 25,200 mg e um volume total de 2,380 L.

Para o período antes da adição dos adubos nitrogenados, a concentração média diária de NH_4^+ foi de 0,530 mg/L, com a aplicação da ureia a concentração média subiu para 2,720 mg/L e após a adição de NPK a concentração elevou-se para 15,190 mg/L, valor muito superior ao sugerido pela legislação.

A figura 18 apresenta a concentração (mg/L) de NH_4^+ lixiviado na coluna de 0,5-1,0 m de profundidade do Cambissolo na tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetido a percolações com água destilada.

Figura 18 - Concentração (mg/L) de amônio lixiviado do Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de três repetições

O Cambissolo apresentou uma quantidade de NH_4^+ lixiviado de 22,840 mg, e um volume de água eluída de 3,520 L. As quatro primeiras percolações foram praticamente nulas e na quinta houve um acréscimo, mantendo-se constante até a décima. Nas quatro percolações seguintes houve um pequeno acréscimo e nas seguintes os teores de NH_4^+ foram crescentes, com um pico na 22ª amostragem. Smith et al, (1990) encontraram perdas significativas de NH_4^+ devido a baixa CTC.

A média diária da concentração de NH_4^+ lixiviada no período sem adição de fertilizantes nitrogenados foi de 0,600 mg/L, após a adição da ureia foi de 0,480 mg/L, menor que o período anterior. Já a concentração após a adição de NPK foi de 7,140 mg/L, estando acima dos índices máximos sugeridos pelo Conama (BRASIL, 2005), que estabelece o valor de 3,7 mg/L. Altas concentrações de NH_4^+ na água pode indicar contaminação por fertilizante, podendo levar à ocorrência de problemas de saúde animal, vegetal e humana (OWENS, 1994).

A tabela 6 apresenta os valores médios diários da quantidade de NH_4^+ (mg) lixiviado das colunas de superfície (0-0,5 m) para os três solos analisados: Latossolo, Cambissolo e Gleissolo nos três períodos: branco, ureia e NPK.

Tabela 6 - Valores médios diários da quantidade de amônio (mg) lixiviada das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m)

Amônio (mg)			
Solos	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	NPK (15/07 a 10/08)
Latossolo	0,001 a	0,073a	1,276a
Cambissolo	0,002a	0,117a	1,136 ab
Gleissolo	0,002 a	0,107a	0,733 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A tabela 7 apresenta os valores médios diários da quantidade de NH_4^+ (mg) lixiviado das colunas de subsuperfície (0,5-1,0 m) para os três solos analisados: Latossolo, Cambissolo e Gleissolo nos três períodos: branco, ureia e NPK.

Tabela 7 - Valores médios diários da quantidade de amônio (mg) lixiviada das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m)

Amônio (mg)			
Solos	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	NPK (15/07 a 10/08)
Latossolo	0,030 a	0,050 a	0,913 a
Cambissolo	0,220 a	0,168 a	0,678 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Todos os lixiviados não apresentaram diferença estatística nos teores médios de NH_4^+ para os dois períodos do experimento nas colunas de solo de superfície (Tabela 6) e para os três períodos do experimento nas colunas de solo de subsuperfície (Tabela 7) no primeiro período do experimento, antes da adição da ureia e NPK no solo.

Após a adição do NPK (terceiro período do experimento), os teores de NH_4^+ apresentaram diferenças estatísticas, especificamente entre o Latossolo e o Gleissolo, nas colunas de solo de superfície (Tabela 6). De qualquer maneira, independente do solo, todos os resultados mostraram baixa capacidade de filtro dos solos analisados, visto que todos permitiram lixiviação de NH_4^+ numa concentração média no eluído superior ao permitido pela legislação como comentado na análise dos dados das Figuras 14-18.

4.3 Lixiviação de Nitrato

A figura 19 apresenta a concentração (mg/L) de NO_3^- lixiviado na coluna de 0-0,5 m de profundidade do Latossolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetidos a percolações com água destilada.

Figura 19 - Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Latossolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

A concentração média diária de NO_3^- lixiviado foi de 4,310mg/L antes da adição dos adubos nitrogenados, após a adição da ureia a concentração duplicou (8,600 mg/L), e com a adição do NPK, a concentração praticamente triplicou, 23,280 mg/L. Observa-se que a concentração diária de NO_3^- foi superior à sugerida pela legislação brasileira de 10 mg/L e considerando que antes da adição do NPK a concentração esteve pouco abaixo do limite sugerido, já oferece risco de contaminação.

A quantidade total de NO_3^- lixiviado durante o experimento foi de 68,300 mg e o volume de água foi de 3,200 L. O NO_3^- lixiviado foi baixo nas primeiras percolações, mas crescente e oscilante nas demais. Após a aplicação do NPK, houve um acréscimo nos teores de NO_3^- , ao contrário do NH_4^+ que apresentou um acréscimo abrupto.

A Figura 20 apresenta a concentração (mg/L) de NO_3^- lixiviado da coluna de 0-0,5 m de profundidade do Cambissolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetido a percolações com água destilada.

Figura 20 - Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Cambissolo de superfície (0-0,50 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

A quantidade de NO_3^- percolado (área sob a curva da Figura 20) foi de 9,580 mg. A média diária de NO_3^- lixiviado no período anterior a adição dos fertilizantes nitrogenados foi de 3,450mg/L, caindo após a adição da ureia, para somente 0,860 mg/L. Já a concentração de NO_3^- lixiviado após a adição do NPK, de 9,070 mg/L, foi muito próximo ao limite estabelecido pela legislação, indicando um risco potencial de contaminação.

A figura 21 apresenta a concentração (mg/L) de NO_3^- lixiviado da coluna de 0-0,5 m de profundidade do Gleissolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetido a percolações com água destilada.

Figura 21 - Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Gleissolo de superfície (0-0,5 m) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de cinco repetições

O Gleissolo apresentou uma lixiviação acumulada de NO_3^- de 15,600 mg no final do experimento. Embora a ureia tenha sido aplicada no primeiro dia do experimento, as primeiras nove percolações foram praticamente nulas. Somente a partir da décima os valores foram crescentes, período em que foi aplicado o NPK, sendo imediata a lixiviação do NO_3^- . Possivelmente se o experimento continuasse, mais NO_3^- seria lixiviado por ser pouco retido no solo, permanecendo como íon livre na solução do solo, passível de ser lixiviado (RAIJ, 1991).

A média diária antes da aplicação dos fertilizantes foi de 0,510 mg/L, com a adição da ureia foi de 0,900 mg/L e após a adição do NPK atingiu a média de 6,830 mg/L.

Os três solos de superfície analisados apresentaram lixiviação de NO_3^- . Segundo Taiz & Zeiger (2009), altos teores de NO_3^- podem ocorrer mesmo com as plantas acumulando altos níveis ou translocando através dos tecidos sem efeitos prejudiciais. Entretanto, se o ser humano e animais consumirem material vegetal com altos níveis de NO_3^- , podem sofrer de metemoglobinemia, uma doença na qual o fígado reduz o NO_3^- a nitrito, o que se combina com a hemoglobina.

A alta mobilidade do NO_3^- no solo justifica a preocupação em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (VANOTTI & BUNDY, 1994) motivando pesquisas de caráter agro-ecológico no mundo inteiro a partir da década de 80. Nos países do Reino Unido, o aumento do teor de NO_3^- na água tem gerado discussões sobre os seus efeitos na

saúde e no ambiente, estimulando um grande programa de pesquisa. Tendências similares alavancaram a pesquisa na Europa e na América do Norte (ADDISCTOTT, 2000).

A figura 22 apresenta a concentração (mg/L) de NO_3^- lixiviado da coluna de 0,5-1,0 m de profundidade do Latossolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetido a percolações com água destilada

Figura 22 - Concentração (mg/L) de nitrato lixiviado do Latossolo de subsuperfície (0,5-1,0 m) tratado com ureia e NPK e submetidos a percolações com água destilada. Média de três repetições

A maior lixiviação de NO_3^- em termos de quantidade para o Latossolo de subsuperfície foi de 11,280 mg. Dynia (2000) observou que o NO_3^- mesmo em solos com altos teores de argila, movimentam-se além da zona de exploração radicular da maioria das culturas, alcançando profundidades entre 2 e 6 m.

Como se pode notar pela Figura 22, o valor de NO_3^- no Latossolo de subsuperfície foi crescente já na primeira percolação, mostrando que a ureia foi lixiviada logo após a aplicação. Nas últimas amostragens o teor de NO_3^- continuou crescente, podendo-se afirmar que se o experimento continuasse mais NO_3^- seria lixiviado. A média diária esteve abaixo do limite permitido pela legislação, tendo sido 1,800 mg/L para o período antes da adição dos fertilizantes, 2,690 mg/L após a adição de ureia e 5,370 mg/L após a adição do NPK.

A figura 23 apresenta a concentração (mg/L) de NO_3^- lixiviado coluna de 0,5-1,0 m de profundidade do Cambissolo tratado com ureia e NPK (8-25-15) e submetido a percolações com água destilada.

Figura 23 - Concentração (mg/L) acumulada de nitrato lixiviado do Cambissolo de subsuperfície (0,5-1,0 cm) tratado com ureia e NPK e submetido a percolações com água destilada. Média de três repetições

O Cambissolo de subsuperfície apresentou um valor de NO_3^- lixiviado acumulado no final do experimento de 14,070 mg. A quantidade de NO_3^- foi crescente a partir da décima terceira percolação, não sendo imediata, ao contrário do que ocorreu com o Latossolo. A média diária seguiu a mesma tendência, 0,570 mg/L, com a aplicação de água, após a adição da ureia a concentração foi de 0,380 mg/L e 5,410 mg/L após a adição de NPK.

A tabela 8 apresenta os valores médios diários da quantidade de NO_3^- (mg) lixiviado das colunas de superfície (0-0,5 m) e subsuperfície (0,5-1,0 m) para os três solos analisados: Latossolo, Cambissolo e Gleissolo nos três períodos: branco, ureia e NPK.

Tabela 8 - Valores médios diários da quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m)

Solos	Nitrato (mg)		
	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	Ureia+NPK (15/07 a 10/08)
Latossolo	0,245 a	0,874 a	2,182 a
Cambissolo	0,028 b	0,019 b	0,332 b
Gleissolo	0,038 b	0,072 b	0,547 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A tabela 9 apresenta os valores médios diários da quantidade de NO_3^- (mg) lixiviado das colunas de subsuperfície (0,5-1,0 m) para os três solos analisados: Latossolo, Cambissolo e Gleissolo nos três períodos: branco, ureia e NPK.

Tabela 9 - Valores médios diários da quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m)

Solos	Nitrato (mg)		
	Branco (01 a 05/07)	Ureia (06 a 14/07)	Ureia+NPK (15/07 a 10/08)
Latossolo	0,139 a	0,156 b	0,340 b
Cambissolo	0,029 b	0,033 b	0,452 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Ao contrário do que ocorreu para o íon NH_4^+ , o íon NO_3^- apresentou maiores teores no primeiro período do experimento. O solo a apresentar maior lixiviação foi o Latossolo, a qual diferiu estatisticamente do Cambissolo e Gleissolo para os três períodos do experimento para as colunas de solo de superfície; entre o Cambissolo e o Gleissolo não houve diferença estatística (Tabela 9). Com relação às colunas de solo de subsuperfície, a lixiviação de NO_3^- no Cambissolo diferiu estatisticamente, foi menor do que o Latossolo, apenas no primeiro período (Tabela 9). Mantovani (2005) afirma ser o N um elemento difícil de ser manejado no solo devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito e à dependência das condições ambientais. Estas dificuldades se intensificam devido às perdas por lixiviação ser a mais importante que ocorre com o N nos solos brasileiros em regiões com baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados e alta precipitação pluviométrica. Embora estes valores sejam considerados baixos, ainda não havia aplicação de ureia e NPK, apenas resíduos de adubações dos anos anteriores. Mesmo com o NO_3^- sendo extremamente móvel e os teores baixos, houve lixiviação do ânion em todos os solos.

Segundo Piovesan (2006), o potencial de contaminação da água não está restrito somente ao período posterior à adição do nutriente já que o solo é capaz de reter nutrientes e liberá-los gradativamente à solução do solo. Se estes nutrientes chegarem ao lençol freático, estes passarão a fazer parte da água subterrânea, podendo causar problemas a saúde humana, como a metamoglobinemia e a formação de nitrosaminas carcinogênicas (BOUCHARD et al, 1992).

4.4 Amônio e nitrato nos solos coletados no campo, antes da aplicação da ureia e NPK

Nos solos coletados no campo, antes da adição da ureia e do NPK, foram analisados os valores médios da quantidade de NH_4^+ e NO_3^- existentes no Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, nas seguintes profundidades; 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m.

O Gleissolo foi o único solo a apresentar retenção de NH_4^+ antes da aplicação da ureia e NPK, com 0,340 mg; 0,090 mg; 0,060 mg e 0,010 mg, nas profundidades de 0 a 0,1 m; 0,1 a 0,2 m; 0,2 a 0,3 m e 0,3 a 0,50 m respectivamente, diferenciando-se em relação ao Latossolo e Cambissolo que não apresentaram nenhuma retenção. Prevedello (1996) afirma que se o

elemento químico não se encontra presente no solo ou ligado as estruturas minerais ou orgânicas, estará na solução do solo, podendo ser transportado pela água para camadas mais profundas, algumas vezes chegando ao lençol freático, contaminando-o.

Nos três solos coletados a campo, não foi detectado o íon NO_3^- em nenhuma das profundidades analisadas. Os resultados eram esperados, pois o NO_3^- é extremamente móvel e considerando que nestes três solos ainda não foram aplicados os adubos nitrogenados. Em relação ao Gleissolo, Moraes et al, (1975) afirmam que em solos alagados, a quantidade de N presente na forma de NO_3^- é muito baixa, sendo insignificante como nutriente, pois a maior quantidade do mesmo pode ser perdida rapidamente, diminuindo sua concentração a zero nas três semanas seguintes ao alagamento do solo.

4.5 Amônio retido nas colunas de solos, após a adição de ureia e NPK

A tabela 10 apresenta os valores médios da quantidade (mg) de NH_4^+ retido nas colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo com estrutura não alterada, depois da aplicação da ureia e NPK, nas seguintes profundidades: 0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2-0,3 m; 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m.

Tabela 10 - Valores médios da quantidade de amônio retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m)

Solos	Amônio (mg)				
	0-0,1 m	0,1-0,2m	0,2-0,3 m	0,3-0,4 m	0,4-0,5 m
Latossolo	0,120 b	0,340 b	0,120 a	0,010 a	0,040 a
Cambissolo	2,000 a	2,440 a	0,570 a	0,470 a	0,470 a
Gleissolo	1,430 a	0,440 b	0,160 a	0,000 a	0,000 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Como se pode notar pela Tabela 10 houve diferença estatística entre os solos apenas nas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m. Na camada superficial o NH_4^+ retido foi estatisticamente maior no Latossolo em relação ao Gleissolo e Cambissolo para os quais não houve diferença. Na camada 0,1-0,2 não houve diferença entre o Latossolo e o Gleissolo, nos quais o NH_4^+ retido foi muito menor do que no Cambissolo.

Nas camadas em que o Cambissolo apresentou maior retenção de NH_4^+ , provavelmente possa ser devido a compactação do solo, pois a lixiviação também foi menor. Segundo Bussink (1992), em condições de pH ácido, a espécie química predominante é o NH_4^+ . A percentagem de N amoniacal total em solução, presente na forma de NH_3 , é apenas de 0,01% para um meio com pH 5,2, aumenta para 1% a pH 7,2 e para 50% em pH 9,2. No

solo, o tamponamento do meio e as interações com outros componentes alteram as condições de equilíbrio de modo que em pH 7 a porcentagem de NH_3 é geralmente bem maior do que ocorre em soluções puras.

Em solos alcalinos ou com $\text{pH} > 7$, qualquer fertilizante nitrogenado que contem N amoniacal está sujeito a perdas de NH_3 por volatilização; todavia, é muito baixa no Brasil a ocorrência de solos com estas características. Por outro lado, pouca ou nenhuma perda de NH_3 ocorre quando fertilizantes amoniacais de reação ácida ou neutra, como o sulfato de amônio são aplicados a solos neutros ou ácidos, como demonstram resultados de vários estudos, visto que o NH_4^+ permanece na forma iônica e estável.

A tabela 11 apresenta os valores médios da quantidade (mg) de NH_4^+ retido nas colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo com estrutura não alterada, depois da aplicação da ureia e NPK, nas seguintes profundidades: 0,5-0,6 m; 0,6-0,7 m; 0,7-0,8 m; 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m.

Tabela 11 - Valores médios da quantidade de amônio retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m)

Solos	Amônio (mg)				
	0,5-0,6 m	0,6-0,7 m	0,7-0,8 m	0,8-0,9 m	0,9-1,0 m
Latossolo	3,590 a	2,920 a	3,630 a	1,610 a	0,500 a
Cambissolo	2,220 a	2,680 a	1,590 a	0,020 b	1,000 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

As colunas de solos de subsuperfície apresentaram diferença estatística apenas para a camada 0,8-0,9 m de profundidade no qual o NH_4^+ retido foi muito maior na Latossolo. Prevedello (1996) afirma que a capacidade de retenção é particularmente acentuada nos solos argilosos e altamente intemperizados como os Latossolos, podendo-se utilizar o potencial de retenção de água no solo como agente de estocagem natural e liberação lenta às nascentes e fontes dos cursos de água e lençóis subterrâneos.

Em relação às colunas de solos de superfície, embora não se tenha feito estatística, a retenção parece ter sido maior, concordando com Phillips e Burton (2005) em experimento com Espodossolo Cárbico hidromórfico observaram a tendência do cátion NH_4^+ ficar mais retido na camada inferior do solo e justificaram tal fato pela preferência da MO reter os cátions multivalentes, já que, quanto maior a profundidade menor a presença de MO. Os mesmos autores afirmam que o solo tem preferência em reter NH_4^+ e este fato pode ser atribuído a CTC do solo.

Matson et al, (1998), trabalhando em solos com cultura de trigo no ValeYaqui, região de intensa agricultura no México, afirmaram que a ureia foi rapidamente hidrolisada a NH_4^+ no prazo de três a quatro dias após a irrigação, e no prazo de 15 dias grande parte da NH_4^+ foi convertido em NO_3^- . A quantidade de NH_4^+ permaneceu baixa durante todo o ciclo da cultura, mesmo com a adição de fertilizantes nitrogenados formadores de NH_4^+ , os mesmos foram rapidamente convertidos a NO_3^- , mostrando que nesta cultura o N estava predominantemente nesta forma.

4.6 Nitrato retido nas colunas de solos, após a adição de ureia e NPK

A tabela 12 apresenta os valores médios da quantidade (mg) de NO_3^- retido nas colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo com estrutura não alterada, depois da aplicação da ureia e NPK, nas seguintes profundidades: 0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2-0,3 m; 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m.

Tabela 12 - Valores médios da quantidade (mg) de nitrato retido nas colunas com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de superfície (0-0,5 m)

Nitrato (mg)					
Solos	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m	0,3-0,4m	0,4-0,5 m
Latossolo	0,000 b	0,000 b	0,003 a	0,000 a	0,005 a
Cambissolo	0,000 b	0,000 b	0,000 a	0,000 a	0,000 a
Gleissolo	3,411 a	0,001 a	0,002 a	0,000 a	0,000 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

O Cambissolo não apresentou retenção de NO_3^- (mg) para nenhum dos solos analisados na coluna de superfície. O Latossolo apresentou uma pequena retenção na camada intermediária (0,2-0,3 m), 0,003 mg, e na última camada (0,4-0,5 m), 0,005 mg. O Gleissolo apresentou maior retenção na superfície, 3,411 mg e nas duas camadas seguintes a retenção foi muito menor, com apenas 0,001 e 0,002 mg, para 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, respectivamente. As duas últimas camadas não apresentaram nenhuma retenção. As duas primeiras camadas foram as únicas a apresentar diferença estatística, sendo que o Gleissolo diferenciou-se em relação aos demais.

A tabela 13 apresenta os valores médios da quantidade (mg) de NO_3^- retido nas colunas de Latossolo, Cambissolo e Gleissolo com estrutura não alterada, depois da aplicação da ureia e NPK, nas seguintes profundidades: 0,5-0,6 m; 0,6-0,7 m; 0,7-0,8 m; 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m.

Tabela 13 - Valores médios da quantidade (mg) de nitrato retido nas colunas de solos com estrutura não alterada do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo de subsuperfície (0,5-1,0 m)

Solos	Nitrato (mg)				
	0,5-0,6 m	0,6-0,7 m	0,7-0,8 m	0,8-0,9 m	0,9-1,0 m
Latossolo	0,000 a	0,003 a	0,184 a	0,029 a	0,005 a
Cambissolo	0,000 a	0,000 a	0,000 a	0,000 a	0,000 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Os dois solos avaliados na subsuperfície não apresentaram diferenças estatísticas em nenhuma das camadas avaliadas. Pode-se dizer que ambos não apresentaram qualquer retenção de NO_3^- . Eriksen et al, (2008) avaliaram a lixiviação do NO_3^- no cultivo do azevém e verificaram que o íon foi extremamente móvel no perfil do solo, e essa mobilidade é maior no sistema de plantio direto, onde a evaporação da água é menor, lixiviando solução para as camadas mais profundas.

Piovesan (2006) trabalhando com colunas de um Latossolo Bruno Ácrico observou que para o NO_3^- , as médias foram significativamente inferiores na profundidade de 20-40 cm em relação as camadas superiores do solo. O mesmo autor verificou, tanto para o NO_3^- como para o NH_4^+ , que o fator profundidade foi relevante, já que, para o primeiro houve redução de 40% na concentração enquanto, no segundo, houve redução de 29%, desde a camada superficial (0-5 cm) até a camada de 20-40 cm de profundidade.

Binkley et al, (1999) afirmam que, em condições de campo, a oxidação de NH_4^+ em NO_3^- ocorre num prazo de semanas ou meses. Araújo et al, (2004) estudaram a movimentação de NO_3^- e NH_4^+ em colunas de solo indeformado, em casa-de-vegetação, de um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura muito argilosa. Observaram que a oxidação pode ocorrer num prazo mais rápido e a transformação do NH_2 da ureia em NO_3^- ocorreu uma semana após a aplicação desse fertilizante, existindo a possibilidade de que esse NO_3^- tenha vindo não da ureia, mas sim da decomposição da M.O. do solo.

4.7 Análise conjunta do nitrogênio lixiviado e retido nos solos da pedossequência

A tabela 14 apresenta as duas formas quantificadas de N: N-NH_4^+ e N-NO_3^- lixiviada e retida nos solos das colunas para o Latossolo de superfície (Lat S), Latossolo de Subsuperfície (Lat Sub), Cambissolo de Superfície (Camb S), Cambissolo de Subsuperfície (Camb Sub) e Gleissolo de Superfície (Glei S).

Tabela 14 - As duas formas quantificadas de N: N-NH_4^+ e N-NO_3^- na água de eluição e retido nos solos das colunas para o Latossolo superfície (Lat S), Latossolo Subsuperfície (Lat Sub), Cambissolo Superfície (Camb S), Cambissolo Subsuperfície (Camb Sub) e Gleissolo Superfície (Glei S)

Nitrogênio (mg) lixiviado e retido					
	Lat S	Lat Sub	Camb S	Camb Sub	Glei S
N-NH₄⁺ lixiviado	27,200	19,600	25,100	17,800	10,000
N-NO₃⁻ lixiviado	15,40	2,500	2,200	3,200	3,500
Total lixiviado	42,60	22,100	27,300	21,000	13,500
N-NH₄⁺ retido	0,490	9,520	4,710	5,840	1,580
N-NO₃⁻ retido	0,000	0,000	0,000	0,010	0,770
Total retido	0,490	9,520	4,710	5,850	2,350

A seguir são discutidos os valores quantificados de N-NH_4^+ e N-NO_3^- lixiviados e retido nos solos estudados, embora saiba-se que o N está sujeito a um grande número de reações no solo, sendo difícil de ser manejado eficientemente (MANTOVANI et al, 2007). Nem todo N aplicado ao solo será absorvido pelas plantas, parte dele poderá ser imobilizado por microrganismos, percolar pelo perfil do solo a profundidades não atingíveis pelo sistema radicular das plantas ou ainda se perder para a atmosfera nas formas NH_3 , N_2 , N_2O e NO (BYRNES, 2000).

Em todas as colunas de solo analisadas (superfície e subsuperfície), foram adicionados 278,900 mg de N. O solo com maior quantidade de N-NH_4^+ na água de eluição foi o Latossolo (superfície), 27,200 mg, seguido do Cambissolo (superfície), 25,100 mg. Os solos de subsuperfície apresentaram o mesmo comportamento, o Latossolo com 19,600 mg e o Cambissolo com 17,800 mg. O Gleissolo foi o que apresentou a menor lixiviação de N-NH_4^+ , 10,000 mg. Em relação à quantidade aplicada de N, a lixiviação de N-NH_4^+ foi muito menor em relação à quantidade aplicada. Os resultados concordam com Prasertsak et al, (2001) que afirmam que menos de 5 % do N aplicado é lixiviado para camadas de solo superiores a 30 cm de profundidade. O N pode ser absorvido nas raízes sob a forma de NO_3^- ou NH_4^+ , pode ser incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea da planta. Sparks (1995) descreve que para o N na forma de N-NH_4^+ , a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo, embora a capacidade de adsorção do N-NH_4^+ , de acordo com a serie liotrópica, seja menor em relação à de outros cátions, como Ca e Mg (JADOSKI et al, 2010). Ernani et al, (2002) também constataram que parte do N adicionado na forma de ureia não lixiviou, mesmo após 10 percolações sucessivas com água destilada.

A quantidade de N-NO_3^- na água de eluição foram menores em relação ao N-NH_4^+ para todos os solos analisados. O Latossolo (superfície) apresentou 15,400 mg e o Gleissolo,

3,500 mg. Para o Latossolo (subsuperfície), a quantidade foi inferior na superfície, 2,500 mg. O Cambissolo apresentou quantidades menores, 2,200 mg e 3,200 mg, para a superfície e subsuperfície, respectivamente. Nas duas profundidades estudadas, os teores de N-NO_3^- foram baixos no solo, podendo atribuir a adubação com ureia. Esta quando aplicada ao solo, transforma-se em amônia (NH_3) gasosa e NO_3^- (JADOSKI et al, 2010). O N integrante da ureia necessita de duas reações (hidrólise e nitrificação) até atingir a forma nítrica. Isso pode retardar a lixiviação de NO_3^- em relação aos fertilizantes nítricos, uma vez que essas reações não são imediatas e o NH_4^+ pode ficar temporariamente retido nas cargas negativas. Além disso, a dissolução da ureia eleva o pH do solo nas primeiras semanas nas adjacências dos grânulos do fertilizante (Kiehl, 1989), com reflexos no aumento das cargas negativas e, conseqüentemente, no aumento da adsorção de NH_4^+ . Pelas Figuras 20 a 23 também observa-se que a lixiviação de NO_3^- demorou alguns dias para iniciar, devido à permanência do N na forma amoniacal (SILVA & VALE, 2000).

Para o total de N quantificado na água de eluição (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), o Latossolo (superfície) e o Cambissolo (superfície) apresentaram as maiores lixiviações, 42,600mg e 27,300 mg, respectivamente. O Gleissolo apresentou a menor quantidade (mg) de N-NH_4^+ e N-NO_3^- de todos os solos avaliados, com 13,500 mg. Os solos de subsuperfície apresentaram valores próximos, 22,100mg e 21,000 mg para o Latossolo e o Cambissolo, respectivamente. Alguns autores destacam a baixa lixiviação dos adubos nitrogenados, em relação à quantidade aplicada. Sousa e Lobato (2004) descrevem que as perdas totais de N no solo são 43% provenientes da desnitrificação e no máximo 29% são perdidos na forma de lixiviação de NO_3^- , processo que é mais acentuado em condições de alta umidade do solo. Da mesma forma Wolschick et al, (2008) verificaram que em anos de elevada precipitação as perdas de N por lixiviação no solo não chegam a 30%.

O Latossolo (subsuperfície) apresentou a maior quantidade de N-NH_4^+ retida, 9,520 mg, seguido do Cambissolo (superfície e subsuperfície) com 4,710 mg e 5,840 mg de N-NH_4^+ , respectivamente. O Gleissolo apresentou menor quantidade de N-NH_4^+ retido, 1,580 mg e o Latossolo (superfície) apresentou a menor quantidade em relação aos demais solos, com apenas 0,490 mg de N-NH_4^+ . Costa et al, (2008) afirmam que a disponibilidade de N no solo depende do balanço entre os processos de mineralização e os de imobilização. O processo de mineralização do N, que converte as formas orgânicas de N à formas inorgânicas, ocorre à medida que os microrganismos do solo decompõem a MO. Esse processo se inicia com a aminização (transformação do N orgânico em N-NH_2) seguida da amonificação (transformação da N-NH_2 em N-NH_3). A amônia formada (N-NH_3), após combinar-se com a

água fornece o íon N-NH_4^+ que é uma forma passível de ser absorvida pelas plantas. Em condições favoráveis ao crescimento das plantas a maior parte do íon N-NH_4^+ é rapidamente convertido a N-NO_3^- por ação de bactérias nitrificantes. Esse é o processo desnitrificação que devido a liberação de íons H^+ promove a acidificação do solo (MELGAR, 1999).

O Cambissolo (superfície e subsuperfície) e o Latossolo (superfície) não apresentaram nenhuma quantidade (mg) de N-NO_3^- retido. O Latossolo (subsuperfície) apresentou baixa retenção, apenas 0,010 mg. O Gleissolo apresentou a maior retenção dos solos analisados, com 0,770 mg de N-NO_3^- . Vários autores quantificando a recuperação de N encontraram valores maiores para o N-NH_4^+ em relação ao N-NO_3^- . Entre eles Moreira & Siqueira (2006), que com a aplicação de N por ambas as fontes reduziu o pH do solo, fato que explica o maior teor de N-NH_4^+ em relação ao N-NO_3^- , na profundidade de 0-20 cm devido ao processo de nitrificação mediado pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, sendo essas muito sensíveis a valores de pH menores que 6,0 e nulas em pH menor que 4,5. Costa et al. 2008 observaram que nos tratamentos em que se aplicou N, os teores de N-NH_4^+ no solo foram sempre maiores que o de N-NO_3^- . Campos (2004) trabalhando com sulfato de amônio na cultura do milho em solo sob pastagem de capim-braquiária constatou maior predominância da forma amoniacal sobre a nítrica.

Para o N total quantificado (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), o Latossolo apresentou menor retenção na superfície, 0,490 mg, e maior retenção na subsuperfície, 5,850 mg. O Cambissolo apresentou maior retenção na superfície, 9,520 mg, e menor na subsuperfície, 2,35 mg. Já o Gleissolo apresentou maior retenção de NO_3^- e menor de NH_4^+ , com total de 4,710 mg. O N apresentou uma eficiência baixa. Estes resultados demonstram que a recomendação da dose de N na semeadura do milho, deve partir de uma avaliação caso a caso (FERNANDES et al, 2007). Raun e Johnson (1999) destacam que a eficiência média do uso do N em cereais é de apenas 33%, considerando os 67% de N que não são aproveitados e que a quantificação desses processos pode variar com o tempo e, com a natureza do resíduo orgânico em decomposição, além de depender da atividade microbiana do solo (AITA & GIACOMINI, 2007).

A este respeito Jadoski et al, (2010) relatam que atuação da pesquisa na área de lixiviação tem possibilitado a geração de inúmeros conhecimentos voltados ao manejo agrícola, com redução dos impactos do cultivo em sistemas intensivos sobre a contaminação de recursos hídricos por N. Embora este seja um problema que já vem sendo estudado a longo tempo, existe a necessidade eminente de aprimoramento de conhecimentos. Este é o caso dos novos processos de manejo, novos insumos e fertilizantes com base nitrogenada, cultivares

com diferentes níveis de extração e aproveitamento do N, alterações do clima global, com destaque para o regime hídrico, além do intemperismo do solo, que são elementos que alteram o processo de mobilidade e lixiviação de NO_3^- .

5 CONCLUSÕES

- O volume de eluição para os solos da coluna de superfície foi maior para o Gleissolo e Latossolo em relação ao Cambissolo, provavelmente devido a compactação desse último. Ao contrário do solo das colunas de superfície, a subsuperfície do Cambissolo apresentou maior volume de eluição do que o Latossolo.
- As colunas de solo de superfície apresentaram maior lixiviação de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no Latossolo em relação ao Cambissolo e Gleissolo. Na subsuperfície, tanto a lixiviação de N-NH_4^+ como a lixiviação de N-NO_3^- não diferenciou estatisticamente no Latossolo e Cambissolo.
- Para o N-NH_4^+ houve maior retenção no Latossolo em relação ao Cambissolo e o Gleissolo na camada 0,0-0,1 m e maior retenção no Cambissolo e o Gleissolo na camada de 0,1-0,2 m; nas demais camadas não houve diferença estatística. Com relação ao N-NO_3^- praticamente não houve retenção nos solos estudados.
- A lixiviação de nitrogênio nos três solos foi maior na forma N-NH_4^+ em relação a forma N-NO_3^- .

REFERÊNCIAS

ADDISCTOTT, T.M. Tillage, mineralization and leaching - foreword. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.163-165, 2000.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGENIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:IPNI Brasil, 2007. 722p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2005)- “**Água nos Continentes**”, Brasília, Distrito Federal. Disponível em:
<<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/3-AAguaNosContinentes.pdf>> . Acesso em: 18 nov. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2006) - “**A Água no Brasil e no Mundo**”, Brasília, Distrito Federal. Disponível em:
<<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/1-AAguaNoBrasilENoMundo.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2012.

ARAÚJO, A.R.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de Nitrato e Amônio em colunas de solo. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.28, n.3, p.537-541, 2004.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K.; SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.1867-1876, 2000.

AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.22, n.2, p.222-227, 1992.

AWWA (American Water Works Association), 1990. **Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies**. New York: Mcgraw Hill, 1990. 167 p.

BAKHSH, A.; KANWAR, R.S.; JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S.; AHUJA, L.R. Prediction of NO₃-N losses with subsurface drainage water from manured and UAN-fertilized plots using GLEAMS. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.43, p.69-77, 2000.

BERNOT, M.J.; TANK, J.L.; ROYER, T.V.; DAVID, M.B. Nutrient uptake in streams draining agricultural catchments of the midwestern United States. **Freshwater Biology**, Cumbria, v.51, n.3, p.499-509, 2006.

BINKLEY, D.; HEATHER, B; ALLEN, H.L. Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.121, p.191-213, 1999.

BONDE, T.A.; SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.20, n.4, p.447-452, 1988.

BORTOLINI, C.G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta.** 2000. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BOTTCHER, A.B.; MONKE, E.J; HUGGINS, L.F. Nutrient and sediment loading from a subsurface drainage system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, p.1221-1226, 1981.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y. Nitrate Contamination of Ground Water: sources and potential health effects. **Journal of the American Water Works Association**, Nottingham, v.84, n.9, p.84-90, 1992.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. Soil Organic Matter. In: BRADY, N.C.; WEIL, R.P. (Ed.). **The Nature and Properties of Soils**, New Jersey:Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999. p.446-490.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1, p.58-63.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518 de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 de março de 2004. Seção 1, p.266.

BUSSINK, D. W. Ammonia volatilization from grassland receiving nitrogen fertilizer and rotationally grazed by dairy cattle. **Fertilizer Research**, v. 33, p. 257-265, 1992.

BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p.20-44.

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens*.** 2004. 131p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CANDIDO, A.G. **Análise do potencial de ocorrências de reservatórios devonianos na porção profunda da Bacia do Paraná baseada na caracterização estratigráfica do Membro Tibagi, Formação Ponta Grossa.** 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CANDIDO, A.G; ROSTIROLA, S.P. Análise de fácies e revisão da estratigrafia de sequências da Formação Ponta Grossa, bacia do Paraná: ênfase nos arenitos do Membro Tibagi. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, p.45-62, 2008.

CHAUBEY, I.; SAHOO, D.; HAGGARD, B.E.; MATLOCK, A.D.; COSTELLO, T. Nutrient retention, nutrient limitation, and sediment-nutrient interactions in a pasture-dominated stream. **Transactions of the Assae**, St. Joseph, v.50, n.1, p.35-44, 2007.

COELHO NETTO, A.L. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, n.2, p.69-100, 2003.

CORREL, D.L. Buffer zones and water quality protection: general principals. In: HAYCOCK, N.; BURT, T.; GOULDING, K.; PINAY, G. **Buffer Zones: their processes and potential in water protection**. The proceedings of the International Conference on Buffer Zones: Harpenden, UK: **Quest Environmental**, 1997. cap.2, p.7-20.

COSTA, K.A. de P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P. de; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. da C. Doses e fontes de Nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I – Alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1591-1599, 2008.

COSTA, M.C.G. **Eficiência agronômica de fontes nitrogenadas na cultura de cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2001. 94 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. de.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE, 2001. 124p.

CURCIO, G.R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do Rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 2006. 488p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

CURCIO, G.R. Solos. In: **Plano de Manejo Parque Estadual de Vila Velha**. Curitiba: IAP - Instituto Ambiental do Paraná, SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2004. p.136-174.

DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. **BioScience**, Uberlândia, v.50, p.667-680, 2000.

DODDS, G.T. MANDRAMOOTOO, C.A.; SEREM, V.K. Predicting nitrate-N leaching under different tillage systems using leachm and ntrm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.4, p.1025-1034, 1998.

DORES, E.F.G.C.; WEBER, O.L.S.; VECCHIATO, A.B.; SHIRAIWA, S.; SALOMÁO, F.X.T.; CUTRIM, A.; GUIMARÃES, S.C.; RIEDER, A.; PINTO, A.A.; PEREIRA, M.J.; NASCIMENTO, A.L. **Estudo da contaminação de biocidas no ambiente e seu monitoramento em águas superficiais, subterrâneas e pluviais em regiões cotonícolas do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2005. (Relatório final, fase 2). 112p.

DYNIA, J.F. Nitrate retention and leaching in variable charge soils of a watershed in São Paulo State, Brazil. **Communications Soil Science in Plant Analysis**, New York, v.31, n.5/6, p.777-791, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-CNPS, 2006. 412p.

EMBRAPA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção da Informação; Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 412p.

EPA 2009 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). DRINKING WATER CONTAMINANTS. Disponível em: <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#inorganic>. Acesso em: 29 set. 2012.

ERIKSEN, J.; ASKEGAARD, M.; SOEGAARD, K. Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: Effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history. **Soil Use Management**, Oxford, v.24, p.373-382, 2008.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L. & RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo em função da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.993-1000, 2002.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; SILVA, M.M. Efeito da adubação nitrogenada nas propriedades químicas de um Latossolo, cultivado com milho em sucessão à aveia-preta, na implantação no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.29, p.639-647, 2007.

FULFARO, V.J.; GAMA JUNIOR, E.; SOARES, P.C. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. São Paulo: Paulipetro, 1980. 167 p.

GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação do semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. 2003. 125p. Tese (Doutorado na área de ...) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GOLLANY, H.; MOLINA, J.A.; CLAPP, C.; ALLMARAS, R.; LAYESE, M.; BAKER, J.; CHENG, H. **Nitrogen leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization**. Disponível em: <http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm>. Acesso em: 30 mar. de 2012.

HACK, J.T. Interpretation of erosional topography in Humid Temperate regions. **American Journal of Science**, Washington, v.258A, 188, p.80-97, 1960.

HEDIN, L.O.; ARMESTO, J.J.; JOHNSON, A.H. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests - Evaluation of biogeochemical theory. **Ecology**, Washington, v.76, n.2, p.493-509, 1995.

HOLDRIDGE, L.R.. **Ecologia baseada em zonas de vida**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1982. 216 p.

HORNES, K.L. **A paisagem e o potencial turístico no município de Tibagi; A fazenda Santa Lúcia do Cercadinho – Um estudo de caso (PR)**. 2006. 216 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

HOWARTH, R.W. Special issue - Nitrogen cycling in the North Atlantic Ocean and its watersheds report of the Internacional SCOPE Nitrogen Project – Foreword. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.35, n.1, p.1-1, 1996.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 323 p. (IBGE. Manuais Técnicos em Geociências, 4).

JACOMINE, P.K.T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. São Paulo: USP/EDUSP, 2000. p.27-31.

JADOSKI, S.O.; SAITO, L.R.; PRADO, C.do P.; LOPES, E.C.; SALES, L.L.S.R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3, n.1, p.193-200, 2010.

KAMOGAWA, M.Y.; TEIXEIRA, M.A. Auto-amostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v.32, p.1644-1646, 2009.

KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.75-80, 1989.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: Curso DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1987, Ilha Solteira, **Papéis...Ilha Solteira**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p.139-157.

LAL, R.; STEWART, B.A. Soil Processes and Water Quality. In: _____(Ed.). **Soil processes and water quality**. Advances in soil science. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994, p. 1-6.

LANGE, F.W.; PETRI, S. The Devonian of the Paraná Basin. **Boletim Paranaense Geociências**, Curitiba, n.21/22, p.5-55, 1967.

LESSA, R.N.T.; MACARTHY, V.F.; LEITE, C.C.; OLIVEIRA, B. **Ciclo do nitrogênio**. Universidade Federal de Pelotas. Instituto de Química e Geociências. Disciplina de Química Ambiental II, 2007. 13 p.

LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K.; CERVellini, A. Nitrogen Cycling In A 15-N Fertilized Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Crop. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.67, p.193-208, 1982.

LIMA, M.L.A. de. **Águas subterrâneas potencialmente impactadas por Nitrato (NO₃⁻) na área urbana da cidade de Porto Velho – Um estudo da geografia da saúde**. 2008. 90p.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2008.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2.ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 450p.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP, 1968. 350p.

MANTOVANI, A. **Lixiviação de nitrogênio em Nitossolo Vermelho afetada pelo pH do solo e pela adição de fertilizantes nitrogenados combinados com superfosfato triplo**. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L. A adição de superfosfato triplo e a percolação Nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.887-895, 2007.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.71-82, 1996.

MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; MONASTERIO, O. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. **Science**, Amsterdam, v.280, n.3, p.112-115, 1998.

MEIS, M.R.M.; MONTEIRO, A.M.F. Upper Quaternary "Rampas": Doce River Valley, SE Brazilian Plateau. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, v.23, n.2, p.132-151, 1979.

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1999. p.13-25.

MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre**: curso de atualização em fertilidade do solo. Jaboticabal: ANDA, 1978. 66p.

MORAES, J. F. V., DA SILVA, C. J., CORRÊA, E. Transformação no nitrogênio em dois solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Serie Agronomica**, v. 10, p. 25-30, 1975.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p.

OGERA, R.C. **Remoção de nitrogênio no esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado por batelada**. 1995. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 414p.

OWENS, L.B. Impacts of soil N management on the quality of surface and subsurface water. In: LAL, R.; STEWART, B.A.(Eed.). **Soil processes and water quality**. Lewis Publication, 1994. p.137-162.

PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem da bacia do rio quatorze–Formação serra geral (sw do Paraná): Distribuição espacial, propriedades morfológicas e controle estrutural. **O Espaço Geográfico em Análís**, Curitiba, n.12, p.211-219, 2006.

PETRI, S.; FULFARO, V. **Geologia do Brasil Fanerozóico**. São Paulo:T.A. Queiroz;/ EDUSP. 1983. 631p.

PHILLIPS, I.; BURTON, E. Nutrient leaching in undisturbed Cores of an acidic Sandy Podsol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.73, p.1-14, 2005.

PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SOUSA, R.O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. (Ed.). **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.11-36.

PIOVESAN, R.P. **Perdas de Nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob adubação mineral e orgânica**. 2006. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

POSTEL, S.L.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. Human appropriation of renewable fresh water. **Science**, Amsterdam, v.271, n.5250, p.785-788, 1996.

PRASAD, V.K.; ORTIZ, A.; STINNER, B.; MCCARTNEY, D.; PARKER, J.; HUDGINS, D.; HOY, C. Exploring the relationship between hydrologic parameters and nutrient loads using digital elevation model and GIS - A case study from Sugarcreek Headwaters, Ohio, USA. **Environmental Monitoring And Assessment**, Ohio, v.110, n.1-3, p.141-169, 2005.

PRASERTSAK,P.; FRENEY,P.G.; DENMEAD, O.T.; PROVE, B.G. Fate of Urea Nitrogen Applied to a Banana Crop in the Wet Tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, n. 59, p. 65-73, 2001.

PREVEDELLO, C.L. **Física do Solo com Problemas Resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446 p.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagens de *coastcross* adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, p.683-690, 2006.

RAIJ, B. van.**Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo – Piracicaba, Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.3, p.357-363, 1999.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: 4.ed. Viçosa;; NEPUT, 2002. 367p.

SÁ, M.F.M. “Os solos dos Campos Gerais.” In: MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. cap. 22, p.73-83.

SAHRAWAT, K.L. Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.39, p.1436-1446, 2008.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. DA; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação de Solos Conceitos, temas e aplicações**. - 3ª edição – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, p. 269.

SATO, A.M.; AVELAR, A. de S.; NETTO COLEHO, A.L. Hidrologia de encosta numa cabeceira de drenagem com cobertura de eucalipto na bacia do rio Sesmarias: médio vale do rio Paraíba do Sul. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté, 2007. p.147-154.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e ureia utilizados como adubo na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.917-926, 2003.

SILVA, A.C. **Caracterização morfológica, física, química e classificação dos solos das terras da Acesita Energética**. Local: Acesita Energética, 2005. 31p.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. do. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2461-2471, 2000.

SILVA, D.R.A. da. **Aplicação de métodos radiométricos (Rb-Sr e Sm-Nd) na análise de bacias sedimentares - o exemplo da Bacia do Paraná**. 2006. 134p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SOUSA, D.M.G. ; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília:Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

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

SUHET, A.R.; PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. (1986) Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados:tecnologia e estratégias de manejo**. Brasília: EMBRAPA, CPAC, 1986. p.167-202.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. El azufre y los microelementos en los suelos y en los fertilizantes. In: TISDALE S.L. (Ed.). **Barcelona:Fertilidad de los suelos y fertilizantes**, 1970. p.310-382.

UEPG - Universidade Estadual de Ponta Grossa. **Caracterização do Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: UEPG:, 2003. 239p. (Relatório de Pesquisa)

UNESCO – **El agua como fuente de conflictos**: repaso de los conflictos em el mundo. In: Oficina Regional de Ciência e Tecnologia da UNESCO, 2006. 16p.

UNESCO. Compartilhar a água e definir o interesse comum. In: **Água para todos**: água para a vida. Edições UNESCO, 2003 (Informe das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos no mundo). . p. 25-26.

VANOTTI, M.B., BUNDY, L.G. Frequency of N fertilizer carryover in the Humid Midwest. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.881-886, 1994.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.411-417, 1998.

VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; ERICKSON, H.E.; KELLER, M. Land-use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Flórida, v.13, p.31-46, 1999.

VICTORIA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.105-120.

VIEIRA, A.R.; OLIVEIRA, J.A.; VIEIRA, T.G.C.; GUIMARÃES, R.M. Efeito do tipo de solo de várzea sobre a produtividade e a qualidade de sementes de arroz irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.34, n.1, p.26-31, 2003.

VITOUSEK, P.M.; HOWARTH, R.W. Nitrogen limitation on land and in the sea - How can it occur. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.13, n.2, p.87-115, 1991.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; JADOSKI, S.O. Adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “El Niño”. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. V. 1, p.7-14, 2008.

YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.1108-1115, 1998.

ANEXOS

ANEXO A - Características físico-hídricas (macroporosidade, porosidade de aeração, água disponível, Areia grossa, Areia fina, Silte e Argila da pedossequencia: Latossolo; Cambissolo e Gleissolo

Macro: macroporosidade, PA: Porosidade de aeração, AD: água disponível, S: Silte e Argila da pedossequencia: Latossolo (P1); Cambissolo (P2) e Gleissolo (P3).

ANEXO B - Descrição morfológica dos solos

Perfil nº 1

Classificação: LATOSSOLO BRUNO* Distrófico rúbico

Município: Ponta Grossa

Localização: Terço Superior

Situação e declive: 7%

Litologia e Formação Geológica: Folhelhos da Formação Ponta Grossa

Material Originário: Folhelhos

Relevo: Suave Ondulado

Altitude: 872 metros

Drenagem: Acentuadamente drenado

Erosão: Não aparente

Vegetação Primária: Estepe Montana dos Campos Gerais do Paraná

Uso Atual: Cultura Milho – Soja - Aveia

Ap - 0-23 cm

Bruno avermelhado escuro (5YR 3/3); muito argilosa; estrutura moderada - forte pequena muito pequena granular; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

BA - 23-46 cm

Bruno avermelhado (4YR 4/5); argilosa; estrutura moderada - forte, pequena granular; friável, plástico e pegajoso; transição gradual plana.

Bw₁ - 46-81 cm

Bruno avermelhado (4YR 4/5); argilosa; estrutura forte muito pequeno; granular, muito friável; plástico e pegajoso, transição difusa plana.

Bw₂ - 81- 146⁺ cm

Avermelhado (2,5YR 4/6); argilosa; estrutura forte muito pequena, granular, muito friável, plástico e pegajoso; transição difusa plana.

Observações:

Em 21 cm até 31 cm está mais compactado devido a atividade agrícola.

Poros:

Ap: Poros comuns pequeno, poucos muito pequeno, poucos médio e grande.

BA: Poros muito pequeno, comuns muito pequeno, médio e grande.

Bw₁ : Poros muito pequeno e pequeno, comuns médio e grande.

Bw₂ : Poros muito pequeno e pequeno, comuns médio e grande.

* Classificação como BRUNO apesar dos teores de carbono orgânico não satisfazerem os quesitos para integral enquadramento.

Perfil 1: LATOSSOLO BRUNO* Distrófico rúbrico

Perfil nº 2

Classificação: CAMBISSOLO HÚMICO* Distrófico gleissólico

Município: Ponta Grossa

Localização: Terço Médio

Situação e declive: 4%

Litologia e Formação Geológica: Folhelhos da Formação Ponta Grossa

Material Originário: Folhelhos

Relevo: Suave ondulado

Altitude: 870 metros

Drenagem: Moderadamente drenado

Erosão: Não aparente

Vegetação Primária: Estepe Montana dos Campos Gerais do Paraná
 Uso Atual: Cultura Milho – Soja - Aveia

Ap - 0-26 cm

Marrom acinzentado muito escuro (10YR 3/2); moderada pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta plana.

BA - 26–52 (45) cm

Marrom escuro (10 YR 4/3) e marrom escuro (10YR 3,5/3); moderada grande bloco subangulares; firme, plástico e pegajoso; transição clara e ondulada.

B_i - 52–83 cm

Marrom amarelado (10YR 5/6); moderada grande blocos subangulares plástico e pegajoso; transição plana e granular.

B_{ig} – 83-103⁺ cm

Marrom amarelado (10YR 5/6); mosqueados pequenos, comuns e proeminentes; bruno avermelhado e vermelho (2,5YR 4/6); moderada fraca, grandes blocos subangulares; plástico e pegajoso.

Observações:

Solo compactado entre 20 e 30 cm; solo adensado em 40 cm de profundidade.

Poros:

Ap: Poros poucos muito pequenos e pouco pequenos.

BA: Poros comuns pequeno e muito pequeno e poros grandes.

Bi: Muitos poros pequenos e muito pequeno, poucos grandes.

Big: Muitos poros pequeno e muito pequeno, poros grandes.

* Classificado como Húmico a despeito dos teores de carbono apresentarem-se baixos.

** Classificado no subgrupo gleissólico, embora não conste no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.

Perfil 2: CAMBISSOLO HÚMICO* Distrófico gleissólico

Perfil nº 3

Classificação: GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico típico

Município: Ponta Grossa

Localização: Terço inferior

Situação e declive: 1%

Litologia e Formação Geológica: Folhelhos da Formação Ponta Grossa

Material Originário: Sedimento alúvio - coluvionar

Relevo: Plano

Altitude: 860 metros

Drenagem: Muito mal drenado

Erosão: Não aparente

Vegetação Primária: Estepe hidrófila montana dos Campos Gerais do Paraná

Uso Atual: Cultura Milho – Soja - Aveia

Observação: Não descrito por estar com saturação hídrica permanente.

Área de coleta do GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico típico, com saturação hídrica permanente

ANEXO C - Análise granulométrica do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Solo	Latossolo				Cambissolo				Gleissolo			
Prof. (m)	AG	AF	Silte	Argila	AG	AF	Silte	Argila	AG	AF	Silte	Argila
	g Kg ⁻¹				g Kg ⁻¹				g Kg ⁻¹			
0 - 0,1	250	254	140	356	299	205	132	364	551	140	168	141
	281	267	90	362	316	193	110	381	423	166	350	61
	236	238	120	406	288	198	130	384	432	198	280	90
0,1 - 0,2	202	226	130	402	259	201	120	420	459	380	84	77
	198	242	90	470	311	204	150	335	431	415	64	90
	238	215	180	367	295	193	150	362	429	362	59	150
0,2 - 0,3	287	216	130	367	282	196	120	402	390	350	50	210
	234	255	110	401	269	184	110	437	401	360	34	205
	231	231	120	418	295	203	140	362	380	335	40	235
0,3 - 0,5	205	221	120	454	306	210	120	364	591	241	109	59
	237	276	140	347	287	202	127	384	575	265	120	40
	239	267	130	364	290	210	120	380	435	264	120	181
0,5 - 1,0	229	241	110	420	299	191	110	400				
	257	210	86	447	280	193	110	417				
	233	228	100	439	287	191	110	412				

Sendo: AG – areia grossa e AF – areia fina

ANEXO D - Porosidades (macro, micro e total) do Latossolo, Cambissolo e Gleissolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Solo	Latossolo			Cambissolo			Gleissolo		
Prof. (m)	PT	Macro	Micro	PT	Macro	Micro	PT	Macro	Micro
	cm ³ cm ⁻³			cm ³ cm ⁻³			cm ³ cm ⁻³		
0 - 0,1	0,611	0,191	0,420	0,569	0,149	0,420	0,885	0,741	0,143
	0,561	0,183	0,377	0,535	0,095	0,440	0,917	0,808	0,109
	0,524	0,146	0,378	0,597	0,152	0,445	0,941	0,795	0,145
0,1 - 0,2	0,521	0,163	0,358	0,512	0,099	0,413	0,930	0,842	0,087
	0,452	0,066	0,385	0,555	0,094	0,462	0,997	0,907	0,090
	0,536	0,102	0,434	0,495	0,094	0,401	0,941	0,844	0,097
0,2 - 0,3	0,545	0,130	0,415	0,538	0,101	0,438	0,957	0,836	0,121
	0,505	0,089	0,416	0,579	0,101	0,478	0,941	0,824	0,117
	0,503	0,107	0,396	0,558	0,101	0,458	1,017	0,916	0,101
0,3 - 0,5	0,575	0,136	0,438	0,540	0,130	0,410	0,876	0,785	0,091
	0,573	0,137	0,436	0,569	0,127	0,442	0,906	0,820	0,087
	0,560	0,151	0,409	0,555	0,129	0,426	0,865	0,765	0,100
0,5 - 1,0	1,063	0,198	0,232	1,134	0,103	0,125			
	1,100	0,170	0,196	1,186	0,112	0,126			
	1,082	0,184	0,214	1,160	0,108	0,126			

Sendo: Ds – densidade do solo; P – porosidade total; P_{aer} – porosidade de aeração; macro – macroporosidade; micro – microporosidade; Ks – condutividade hidráulica; AD – água disponível

ANEXO E1- Propriedades químicas do Latossolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	pH água	pH (CaCl ₂)	ΔpH	H+Al	Al	Ca	Mg	K
cmol _c dm ⁻³								
0 – 0,1	5,1	5,7	0,6	13,500	0,180	1,100	0,600	0,560
	5,0	5,5	0,5	15,800	0,190	1,000	0,700	0,580
	5,2	5,9	0,7	17,500	0,180	0,500	0,600	0,570
0,1 – 0,2	5,7	5,3	-0,4	15,000	0,000	0,300	0,700	0,570
	5,6	5,1	-0,5	14,200	0,110	0,300	0,700	0,580
	5,8	5,5	-0,3	14,200	0,100	0,100	0,700	0,580
0,2 – 0,3	6,4	5,5	-0,9	12,100	0,140	0,100	0,800	0,460
	6,5	5,3	-1,2	11,500	0,110	0,000	0,800	0,510
	6,3	5,8	-0,5	11,500	0,100	0,100	0,900	0,500
0,3 – 0,5	5,9	5,7	-0,2	12,800	0,110	0,800	0,700	0,340
	5,8	5,6	-0,2	13,500	0,080	1,000	0,600	0,320
	6,0	5,8	-0,2	13,500	0,140	1,000	0,600	0,320
0,5 – 1,0	5,6	5,1	-0,5	13,500	0,130	1,500	0,500	0,130
	5,5	5,2	-0,3	14,200	0,100	1,600	0,500	0,110
	5,7	5,5	-0,2	14,200	0,120	1,600	0,500	0,120

Sendo ΔpH=pH (água) –pH (CaCl₂); H+Al - Acidez Potencial; Al: Alumínio Trocável; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio e K: Potássio.

ANEXO E2 - Propriedades químicas do Latossolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	P g dm ⁻³	M.O.	SB	CTC	CTA	V%	m%
cmol _c dm ⁻³							
0 – 0,1	0,533	43,32	2,260	15,760	0,022	14,340	7,377
	0,623	42,237	2,280	18,080	0,024	12,611	7,692
	0,579	41,876	1,670	19,170	0,022	8,712	9,730
0,1 – 0,2	0,501	32,851	1,570	16,570	0,019	9,475	0,000
	0,466	33,212	1,580	15,780	0,020	10,013	6,509
	0,474	38,988	1,380	15,580	0,018	8,858	6,757
0,2 – 0,3	0,076	35,739	1,360	13,460	0,015	10,104	9,333
	0,098	34,295	1,310	12,810	0,017	10,226	7,746
	0,067	29,602	1,500	13,000	0,015	11,538	6,250
0,3 – 0,5	0,006	22,021	1,840	14,640	0,024	12,568	5,641
	0,010	22,021	1,920	15,420	0,023	12,451	4,000
	0,016	22,382	1,920	15,420	0,026	12,451	6,796
0,5 – 1,0	0,011	14,079	2,130	15,630	0,028	13,628	5,752
	0,044	12,996	2,210	16,410	0,028	13,467	4,329
	0,013	13,718	2,220	16,420	0,030	13,520	5,128

Sendo: P - fósforo; MO - matéria orgânica; SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; CTA - capacidade de troca de ânions; V% - saturação de bases e m% - saturação de alumínio.

ANEXO E3- Propriedades químicas do Cambissolo, em triplicata, nas camadas de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	pH água	pH (CaCl ₂)	ΔpH	H+Al	Al	Ca	Mg	K
cmol _c dm ⁻³								
0 - 0,1	6,0	6,3	0,3	14,200	0,090	0,500	1,500	0,410
	6,1	6,2	0,1	12,100	0,080	0,700	1,300	0,320
	5,9	6,5	0,6	12,100	0,130	0,900	1,100	0,300
0,1 - 0,2	5,8	4,8	-1,0	16,600	0,410	1,300	0,400	0,190
	5,7	4,7	-1,0	19,500	0,410	1,300	0,400	0,200
	6,1	4,5	-1,6	20,500	0,390	1,500	0,400	0,180
0,2- 0,3	5,9	5,9	0,0	21,600	0,470	1,300	0,500	0,150
	5,8	5,7	-0,1	21,600	0,460	1,300	0,500	0,160
	6,1	6,1	0,0	22,800	0,510	1,300	0,400	0,160
0,3 – 0,5	5,6	3,8	-1,8	22,800	0,520	1,400	0,400	0,120
	5,7	3,7	-2,0	22,800	0,560	1,400	0,400	0,120
	5,4	3,9	-1,5	22,800	0,540	1,400	0,200	0,110
0,5 – 1,0	5,5	4,5	-1,0	20,500	0,120	1,800	0,200	0,020
	5,3	4,4	-0,9	20,500	0,110	1,800	0,200	0,040
	5,8	4,6	-1,2	20,500	0,110	1,800	1,200	0,030

Sendo ΔpH=pH (água) – pH (CaCl₂); H+Al - Acidez Potencial; Al: Alumínio Trocável; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio e K: Potássio

ANEXO E4 - Propriedades químicas do Cambissolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	P g dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	CTA cmol _c dm ⁻³	V%	m%
0 – 0,1	0,186	41,876	2,410	16,610	0,030	14,509	3,600
	0,203	40,071	2,320	14,420	0,029	16,089	3,333
	0,154	40,432	2,300	14,400	0,031	15,972	5,350
0,1 – 0,2	0,064	38,627	1,890	18,490	0,021	10,222	17,826
	0,069	36,100	1,900	21,400	0,022	8,879	17,749
	0,060	38,988	2,080	22,580	0,019	9,212	15,789
0,2 – 0,3	0,021	33,250	1,950	23,550	0,023	8,280	19,421
	0,025	32,129	1,960	23,560	0,024	8,319	19,008
	0,030	31,768	1,860	24,660	0,021	7,543	21,519
0,3 – 0,5	0,016	31,407	1,920	24,720	0,021	7,767	21,311
	0,006	30,685	1,920	24,720	0,022	7,767	22,581
	0,006	28,880	1,710	24,510	0,018	6,977	24,000
0,5 – 1,0	0,000	12,274	2,020	22,520	0,125	8,970	5,607
	0,000	12,274	2,040	22,540	0,123	9,051	5,116
	0,001	12,274	3,030	23,530	0,126	12,877	3,503

Sendo: P - fósforo; MO - matéria orgânica; SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; CTA - capacidade de troca de ânions; V% - saturação de bases e m% - saturação de alumínio

ANEXO E5 - Propriedades químicas do Gleissolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	pH água	pH (CaCl ₂)	Δ pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K
						cmol _c dm ⁻³		
0 - 0,1	6,0	4,8	-1,2	28,100	0,890	1,100	1,100	0,690
	6,2	4,7	-1,5	31,300	0,860	1,200	1,300	0,620
	5,8	4,9	-0,9	31,300	0,730	1,000	0,300	0,710
0,1 - 0,2	4,6	4,3	-0,3	31,300	1,420	1,700	0,200	0,190
	4,4	4,2	-0,2	31,300	1,230	1,600	0,300	0,160
	4,3	4,4	0,1	31,300	1,400	1,700	0,100	0,210
0,2 - 0,3	6,5	4,5	-2,0	33,000	1,270	1,700	0,100	0,060
	6,4	4,4	-2,0	31,300	1,330	1,700	0,100	0,070
	6,8	4,6	-2,2	31,300	1,340	1,700	0,100	0,070
0,3 - 0,5	5,8	3,7	-2,1	31,300	1,260	1,700	0,100	0,040
	5,9	3,6	-2,3	31,300	1,330	1,700	0,100	0,040
	5,4	3,8	-1,6	33,000	1,300	1,700	0,100	0,040

Sendo Δ pH=pH (água) -pH (CaCl₂); H+Al - Acidez Potencial; Al: Alumínio Trocável; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio e K: Potássio

ANEXO E6 - Propriedades químicas do Gleissolo, em triplicata, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m e 0,5-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	P	M.O.	SB	CTC	CTA	V%	m%
		g dm ⁻³					
			cmol _c dm ⁻³				
0 - 0,1	0,011	107,578	2,890	30,990	0,199	9,326	23,545
	0,008	99,636	3,120	34,420	0,189	9,064	21,608
	0,023	96,387	2,010	33,310	0,210	6,034	26,642
0,1 - 0,2	0,010	60,287	2,090	33,390	0,092	6,259	40,456
	0,010	57,399	2,060	33,360	0,091	6,175	37,386
	0,011	63,897	2,010	33,310	0,092	6,034	41,056
0,2 - 0,3	0,008	50,179	1,860	34,860	0,034	5,336	40,575
	0,008	0,000	1,870	33,170	0,035	5,638	41,563
	0,008	53,428	1,870	33,170	0,032	5,638	41,745
0,3- 0,5	0,015	31,407	1,840	33,140	0,034	5,552	40,645
	0,008	35,017	1,840	33,140	0,034	5,552	41,956
	0,008	34,295	1,840	34,840	0,036	5,281	41,401

Sendo: P - fósforo; MO - matéria orgânica; SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; CTA - capacidade de troca de ânions; V% - saturação de bases e m% - saturação de alumínio

ANEXO F1 - Valores de densidade do solo (g cm^{-3}) das colunas de Latossolo, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m de profundidade, com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e nas camadas 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade, com três repetições (R1, R2 e R3)

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	1371	1656	1204	1067	1324	0,5-0,6	14171	1319	1417
0,1-0,2	1419	1288	1522	1426	1414	0,6-0,7	1382	1284	1065
0,2-0,3	1505	1254	1525	1551	1459	0,7-0,8	1360	1412	1486
0,3-0,4	856	1188	627	679	837	0,8-0,9	1237	1318	1218
0,4-0,5	1216	788	906	1100	1002	0,9-1,0	1263	1376	1317

ANEXO F2 - Valores de densidade do solo (g cm^{-3}) das colunas de Cambissolo, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m de profundidade, com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e nas camadas 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade, com três repetições (R1, R2 e R3)

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	1058	1297	1244	1304	1196	0,5-0,6	1344	1214	1374
0,1-0,2	1584	1509	1516	1487	1463	0,6-0,7	1313	1601	1353
0,2-0,3	1453	1424	1583	1525	1534	0,7-0,8	1093	1344	1259
0,3-0,4	1408	1401	1122	1475	1427	0,8-0,9	1368	1332	1339
0,4-0,5	1399	1387	1336	1679	1564	0,9-1,0	1203	1282	1229

ANEXO F3- Valores de densidade do solo (g cm^{-3}) das colunas de Gleissolo, nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m de profundidade, com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5)

Prof. (m)	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
0-0,1	459	425	563	501	584
0,1-0,2	378	340	348	517	484
0,2-0,3	363	319	389	435	372
0,3-0,4	440	479	423	465	582
0,4-0,5	461	564	507	502	503

ANEXO G1- Quantidade de amônio (mg) dos solos das colunas de Latossolo, na superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3), divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m, 0,4-0,5 m, 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	0,000	0,200	0,200	0,000	0,190	0,5-0,6	3,391	4,300	3,064
0,1-0,2	0,065	1,364	0,000	0,259	0,000	0,6-0,7	2,933	3,554	2,268
0,2-0,3	0,000	0,000	0,218	0,377	0,000	0,7-0,8	2,465	6,236	2,184
0,3-0,4	0,000	0,000	0,020	0,000	0,015	0,8-0,9	1,639	0,977	2,204
0,4-0,5	0,000	0,129	0,000	0,000	0,086	0,9-1,0	0,281	0,619	0,600

ANEXO G2 - Quantidade de amônio (mg) das colunas de solo Cambissolo, na superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3), divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m, 0,4-0,5 m, 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	1,058	2,283	2,553	1,846	2,251	0,5-0,6	2,660	1,556	2,434
0,1-0,2	1,584	3,191	2,541	1,827	3,049	0,6-0,7	3,213	1,812	3,010
0,2-0,3	1,453	0,184	0,058	0,038	1,092	0,7-0,8	1,912	0,894	1,974
0,3-0,4	1,408	0,015	0,000	0,000	0,940	0,8-0,9	0,000	0,037	0,023
0,4-0,5	1,399	0,000	0,000	0,000	0,931	0,9-1,0	1,204	1,801	0,000

ANEXO G3 - Quantidade de amônio (mg) nos solos das colunas de Gleissolo, na superfície (0-0,50 m) divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m, com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5)

Prof. (m)	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
0-0,1	1,333	1,259	1,693	1,366	1,489
0,1-0,2	0,511	0,369	0,432	0,471	0,402
0,2-0,3	0,033	0,021	0,422	0,314	0,000
0,3-0,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4-0,5	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000

ANEXO H1- Quantidade de nitrato (mg) nos solos das colunas de Latossolo, na superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3), divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m, 0,4-0,5 m, 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5-0,6	0,000	0,000	0,000
0,1-0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,6-0,7	0,000	0,010	0,000
0,2-0,3	0,000	0,000	0,000	0,009	0,006	0,7-0,8	0,000	0,553	0,000
0,3-0,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,8-0,9	0,000	0,087	0,000
0,4-0,5	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000	0,9-1,0	0,000	0,015	0,000

ANEXO H2 - Quantidade de nitrato (mg) nos solos das colunas de Cambissolo na superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3), divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m, 0,4-0,5 m, 0,5-0,6 m, 0,6-0,7 m, 0,7-0,8 m, 0,8-0,9 m e 0,9-1,0 m de profundidade

Prof. (m)	Superfície					Prof. (m)	Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3
0-0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5-0,6	0,000	0,000	0,000
0,1-0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,6-0,7	0,000	0,000	0,000
0,2-0,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,7-0,8	0,000	0,000	0,000
0,3-0,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,8-0,9	0,000	0,000	0,000
0,4-0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,9-1,0	0,000	0,000	0,000

ANEXO H3 - Quantidade de nitrato (mg) nos solos das colunas de Gleissolo, na superfície (0-0,50 m), divididos a cada 0,1 m: 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m de profundidade, com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5)

Prof. (m)	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
0-0,1	1,976	3,448	4,811	3,575	3,241
0,1-0,2	0,000	0,027	0,018	0,004	0,000
0,2-0,3	0,006	0,004	0,000	0,000	0,000
0,3-0,4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4-0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO I1 - Quantidade de amônio e nitrato (mg) no Latossolo coletado à campo, antes da adição da ureia e NPK, nas profundidades de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m, 0,5-1,0 m de profundidade, com três repetições (R1, R2 e R3)

Amônio (mg)				Nitrato (mg)			
Prof. (m)	R1	R2	R3	Prof. (m)	R1	R2	R3
0-0,1	0,000	0,000	0,000	0-0,1	0,000	0,000	0,000
0,1-0,2	0,000	0,000	0,000	0,1-0,2	0,000	0,000	0,000
0,2-0,3	0,000	0,000	0,000	0,2-0,3	0,000	0,000	0,000
0,3-0,5	0,000	0,000	0,000	0,3-0,5	0,000	0,000	0,000
0,5-1,0	0,000	0,000	0,000	0,5-1,0	0,000	0,000	0,000

ANEXO I2 - Quantidade de amônio e nitrato (mg) no Cambissolo coletado à campo, antes da adição da ureia e NPK, nas profundidades de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,5 m, 0,5-1,0 m de profundidade, com três repetições (R1, R2 e R3)

Amônio (mg)				Nitrato (mg)			
Prof. (m)	R1	R2	R3	Prof. (m)	R1	R2	R3
0-0,1	0,000	0,000	0,000	0-0,1	0,000	0,000	0,000
0,1-0,2	0,000	0,000	0,000	0,1-0,2	0,000	0,000	0,000
0,2-0,3	0,000	0,000	0,000	0,2-0,3	0,000	0,000	0,000
0,3-0,5	0,000	0,000	0,000	0,3-0,5	0,000	0,000	0,000
0,5-1,0	0,000	0,000	0,000	0,5-1,0	0,000	0,000	0,000

ANEXO I3 - Quantidade de amônio e nitrato (mg) no Gleissolo coletado à campo, antes da adição da ureia e NPK, nas profundidades de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m e 0,3-0,5 m de profundidade, com três repetições (R1, R2 e R3)

Amônio (mg)				Nitrato (mg)			
Prof. (m)	R1	R2	R3	Prof. (m)	R1	R2	R3
0-0,1	0,277	0,326	0,408	0-0,1	0,000	0,000	0,000
0,1-0,2	0,064	0,113	0,084	0,1-0,2	0,013	0,007	0,000
0,2-0,3	0,024	0,066	0,087	0,2-0,3	0,000	0,000	0,000
0,5-1,0	0,007	0,013	0,014	0,5-1,0	0,000	0,000	0,000

ANEXO J1 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Latossolo de superfície (0-0,5 m) com 5 repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2, R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	Volume (mL)					R1	R2	R3
	R1	R2	R3	R4	R5			
Branco								
01/out	0	0	0	0	0	0	0	0
02/out	48	50	52	56	42	87	84	78
03/out	84	83	81	87	75	81	82	81
04/out	85	84	84	81	76	85	83	76
05/out	83	84	82	85	78	87	82	79
Ureia								
06/out	80	85	79	81	73	26	86	82
07/out	85	85	81	73	78	25	88	84
08/out	81	85	86	79	74	27	91	51
09/out	88	88	78	82	87	27	87	77
10/out	71	75	84	85	86	39	78	71
11/out	85	83	79	87	64	25	85	84
12/out	80	83	81	87	83	26	88	79
13/out	90	88	70	85	80	32	91	81
14/out	89	87	2	81	89	12	132	15
NPK (8-25-15)								
15/out	87	81	0	82	51	18	87	20
16/out	80	85	0	80	88	18	78	22
17/out	86	87	0	87	82	21	85	18
18/out	90	88	38	80	82	24	85	25
19/out	92	90	48	82	9	25	89	17
20/out	87	88	49	84	88	25	88	21
21/out	83	85	68	79	85	23	89	26
22/out	80	83	62	81	78	46	80	29
23/out	85	85	61	86	74	42	86	27
24/out	86	91	60	87	85	45	85	22
25/out	83	87	63	86	87	49	84	27
26/out	87	89	76	92	84	43	82	34
27/out	77	80	68	87	89	53	81	38
28/out	92	82	93	91	77	60	90	42
29/out	88	85	88	86	22	73	89	49
30/out	96	80	70	94	38	87	89	54
31/out	90	93	60	89	93	45	92	54
1/nov	88	87	60	82	90	22	85	58
2/nov	88	90	71	81	80	66	90	64
3/nov	75	78	61	85	86	53	78	62
4/nov	85	85	68	85	64	68	82	64
5/nov	87	88	66	82	83	43	88	64

ANEXO J1 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Latossolo de superfície (0-0,5 m) com 5 repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2, R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	Volume (mL)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
NPK (8-25-15)								
6/nov	88	90	67	86	85	18	90	60
7/nov	94	90	83	89	86	89	93	60
8/nov	86	79	69	83	90	64	84	60
9/nov	45	46	40	48	85	51	46	35
10/nov	17	29	21		52	22	16	

ANEXO J2 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Cambissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	Volume (mL)					R1	R2	R3
	R1	R2	R3	R4	R5			
Branco								
01/out	5	7	0	9	5	85	33	9
02/out	3	5	0	25	20	76	24	12
03/out	0	8	5	4	0	88	29	13
04/out	21	6	25	27	10	86	60	10
05/out	13	9	4	25	7	87	38	15
Ureia								
06/out	9	19	13	12	15	77	86	0
07/out	8	14	17	19	18	84	86	84
08/out	5	13	12	24	10	81	82	85
09/out	13	15	19	32	44	89	81	89
10/out	41	13	17	17	32	87	83	88
11/out	33	17	33	21	25	85	98	82
12/out	61	12	10	39	37	86	88	87
13/out	58	14	19	52	39	90	83	82
14/out	54	18	11	25	23	89	86	84
NPK (8-25-15)								
15/out	0	21	13	25	27	91	90	80
16/out	0	19	17	27	28	90	89	80
17/out	25	16	12	35	42	82	84	85
18/out	24	14	19	65	45	88	86	85
19/out	61	16	17	69	46	89	88	89
20/out	42	14	33	31	47	90	89	80
21/out	82	13	10	40	47	89	82	88
22/out	89	24	19	39	42	90	83	85
23/out	50	25	11	39	40	86	87	80
24/out	73	34	37	75	43	88	83	85
25/out	41	35	36	32	40	86	82	82
26/out	60	40	41	30	48	89	84	82
27/out	83	35	42	28	46	87	87	88
28/out	65	33	26	27	40	87	89	83
29/out	58	44	23	36	45	88	80	87
30/out	55	57	24	26	45	90	82	88
31/out	63	46	22	33	45	89	81	82
1/nov	25	45	40	39	44	91	86	84
2/nov	29	33	38	41	40	89	82	80
3/nov	43	28	29	33	47	80	89	81
4/nov	11	33	31	34	41	82	86	82
5/nov	38	41	35	36	48	85	83	88

ANEXO J2 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Cambissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	Volume (mL)					R1	R2	R3
	R1	R2	R3	R4	R5			
NPK (8-25-15)								
6/nov	48	29	29	41	48	87	81	84
7/nov	36	51	29	39	48	88	85	87
8/nov	64	47	44	33	40	88	81	87
9/nov	9	22	17	19	14	48	88	85
10/nov		19		15	10		83	80

ANEXO J3 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Gleissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5)

Data	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
Branco					
01/out	76	77	3	75	75
02/out	84	82	20	88	88
03/out	83	81	23	85	75
04/out	83	79	7	85	76
05/out	31	85	47	80	103
Ureia					
06/out	73	80	83	81	72
07/out	88	89	90	81	87
08/out	82	86	88	81	84
09/out	88	91	90	90	88
10/out	18	28	20	20	25
11/out	88	89	83	91	84
12/out	93	93	98	95	89
13/out	95	91	78	90	93
14/out	87	87	55	93	81
NPK (8-25-15)					
15/out	43	87	85	47	84
16/out	82	93	93	77	90
17/out	130	89	62	135	80
18/out	90	88	115	93	87
19/out	91	94	50	93	90
20/out	89	91	143	91	84
21/out	89	92	90	93	85
22/out	84	87	82	87	87
23/out	79	84	180	87	81
24/out	88	91	43	91	88
25/out	82	86	116	86	83
26/out	81	87	122	87	87
27/out	88	83	96	88	89
28/out	79	78	37	81	80
29/out	83	86	75	92	88
30/out	84	80	142	85	79
31/out	86	82	81	85	81
1/nov	92	83	57	91	85
2/nov	88	84	73	89	81
3/nov	73	76	89	75	72
4/nov	81	81	73	86	83
5/nov	83	83	83	86	83
6/nov	91	88	88	92	91
7/nov	84	84	78	88	84

ANEXO J3 - Volume (mL) de água lixiviado das colunas de Gleissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) (continua)

Data	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
NPK (8-25-15)					
8/nov	85	88	89	90	87
9/nov	20	46	94	50	45
10/nov	23				

ANEXO K1 - Quantidade de Amônio (mg) lixiviado das colunas de Latossolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
Branco								
01/out								
02/out	0,000	0,009	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
03/out	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000
04/out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,154	0,000	0,150
05/out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,083	0,000
Ureia								
06/out	0,243	0,006	0,377	0,289	0,087	0,000	0,000	0,197
07/out	0,168	0,001	0,126	0,151	0,087	0,000	0,151	0,018
08/out	0,081	0,037	0,028	0,162	0,053	0,011	0,015	0,016
09/out	0,047	0,042	0,025	0,076	0,039	0,000	0,019	0,015
10/out	0,024	0,013	0,025	0,012	0,028	0,000	0,019	0,012
11/out	0,029	0,040	0,038	0,011	0,048	0,009	0,016	0,015
12/out	0,012	0,043	0,026	0,024	0,079	0,000	0,042	0,017
13/out	0,008	0,047	0,047	0,077	0,050	0,000	0,054	0,016
14/out	0,107	0,116	0,052	0,153	0,058	0,038	0,233	0,307
NPK (8-25-15)								
15/out	1,372	1,356	0,000	1,221	0,000	0,036	1,770	0,398
16/out	1,706	2,241	0,000	1,658	0,006	0,051	3,188	0,404
17/out	1,901	2,392	0,000	1,912	0,000	0,043	2,785	0,386
18/out	2,117	2,442	0,934	1,932	0,037	0,095	2,260	0,509
19/out	2,334	2,252	1,351	2,048	0,001	0,075	2,835	0,327
20/out	2,255	1,762	1,074	2,197	0,538	0,053	2,209	0,415
21/out	1,732	2,278	1,601	1,554	0,000	0,085	2,311	0,485
22/out	2,150	2,075	1,342	2,006	0,000	0,140	1,981	0,474
23/out	2,062	2,282	1,516	1,932	0,027	0,161	2,201	0,598
24/out	2,095	2,472	1,437	2,302	0,037	0,164	2,083	0,492
25/out	1,868	2,253	1,570	2,030	0,012	0,936	1,970	0,499
26/out	2,082	2,293	1,826	2,294	0,033	0,692	1,879	0,781
27/out	1,714	2,054	1,003	1,841	0,057	0,246	1,912	0,864
28/out	2,143	2,125	2,121	2,255	0,050	0,169	2,064	0,797
29/out	2,133	2,170	1,961	2,162	0,004	0,621	1,954	0,862
30/out	1,982	1,922	1,119	1,838	0,023	0,306	1,740	0,628
31/out	1,827	2,148	1,094	1,798	0,027	0,635	1,708	1,052
1/nov	1,699	1,954	1,167	1,510	0,000	0,287	1,593	1,083
2/nov	1,667	1,941	1,286	1,454	0,016	0,423	1,625	1,167
3/nov	1,419	1,618	0,872	1,501	0,017	0,251	1,427	1,339
4/nov	1,458	1,405	0,900	1,551	0,000	1,315	1,385	1,047
5/nov	1,601	1,638	0,739	1,509	0,837	0,242	1,556	1,224

ANEXO K1 - Quantidade de Amônio (mg) lixiviado das colunas de Latossolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
NPK (8-25-15)								
6/nov	1,479	1,461	0,853	1,389	0,002	0,089	1,517	0,313
7/nov	1,816	1,192	0,622	1,207	0,000	0,288	1,425	0,287
8/nov	1,781	1,144	0,566	0,960	0,063	0,189	1,202	0,193
9/nov	1,017	0,812	0,551	0,491	0,018	0,064	0,610	0,081
10/nov	0,300	0,419	0,295		0,010	0,029	0,220	

ANEXO K2 - Quantidade de Amônio (mg) lixiviado das colunas de Cambissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
Branco								
01/out	0,000	0,001		0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
02/out	0,000	0,001		0,000	0,010	0,001	0,000	0,000
03/out	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
04/out	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05/out	0,000	0,001	0,000	0,011	0,001	0,193	0,080	2.987
Ureia								
06/out	0,153	0,323	0,178	0,188	0,245	0,079	0,000	
07/out	0,147	0,257	0,214	0,372	0,270	0,186	0,122	0,416
08/out	0,068	0,176	0,144	0,113	0,152	0,000	0,059	0,000
09/out	0,093	0,107	0,195	0,064	0,085	0,066	0,093	0,000
10/out	0,199	0,063	0,031	0,050	0,056	0,046	0,000	0,000
11/out	0,151	0,078	0,089	0,034	0,046	0,000	0,000	1.355
12/out	0,271	0,053	0,044	0,000	0,104	0,011	0,000	0,000
13/out	0,137	0,033	0,064	0,201	0,042	0,000	0,000	2.072
14/out	0,194	0,065	0,000	0,108	0,029	0,000	0,000	0,000
NPK (8-25-15)								
15/out	0,000	2,205	1,348	2,458	2,665	0,000	0,511	0,783
16/out	0,000	0,585	0,506	2,524	2,953	0,818	0,497	0,719
17/out	2,768	0,421	0,281	3,403	1,121	0,422	0,466	0,633
18/out	2,960	0,351	0,477	1,664	1,149	2,255	0,152	0,589
19/out	1,194	0,293	0,402	1,950	1,153	0,689	0,690	0,533
20/out	0,738	0,315	0,593	0,855	1,637	0,000	0,552	0,719
21/out	1,167	0,163	0,235	1,065	1,901	0,698	0,639	0,688
22/out	2,329	0,581	0,049	0,934	1,306	7,975	8,415	0,764
24/out	0,440	0,866	0,000	1,969	1,776	0,000	0,650	0,640
26/out	0,323	1,004	1,066	1,255	1,238	2,062	0,362	0,770
27/out	1,947	0,922	0,813	1,045	1,042	0,459	0,242	0,571
28/out	1,650	1,451	0,677	1,122	1,124	0,469	0,256	0,511
29/out	1,277	1,682	0,548	1,555	1,122	0,447	0,166	0,859
30/out	1,257	1,237	0,586	1,141	1,002	0,623	0,239	0,448
31/out	1,321	1,084	0,515	1,463	0,732	0,373	0,198	0,734
1/nov	0,553	1,115	0,971	1,254	0,937	0,437	0,221	0,801
2/nov	0,449	0,807	0,850	1,035	0,816	0,346	0,203	0,379
3/nov	0,836	0,692	0,734	1,046	1,140	0,246	0,341	0,808
4/nov	0,258	0,607	0,911	0,904	0,905	0,320	0,305	0,410
5/nov	0,904	1,033	0,720	0,944	1,068	0,267	0,291	0,361
6/nov	1,063	0,650	0,870	0,491	1,061	0,292	0,287	0,419
7/nov	0,721	1,210	0,579	0,707	1,076	0,247	0,198	0,397

ANEXO K2 - Quantidade de Amônio (mg) lixiviado das colunas de Cambissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
NPK (8-25-15)								
8/nov	1,090	1,093	1,734	0,802	0,643	0,292	0,215	0,847
9/nov	0,178	0,480	0,614	0,479	0,291	0,125	0,256	0,811
10/nov		0,373		0,330	0,160		0,321	0,350

ANEXO K3 - Quantidade de amônio (mg) lixiviado das colunas de Gleissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	R1	R2	R3	R4	R5
Branco					
01/out	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000
02/out	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000
03/out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018
04/out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05/out	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
Ureia					
06/out	0,837	0,763	0,463	0,740	0,335
07/out	0,037	0,000	0,000	0,416	0,000
08/out	0,057	0,269	0,249	0,000	0,000
09/out	0,000	0,130	0,117	0,144	0,000
10/out	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
11/out	0,000	0,051	0,000	0,000	0,000
12/out	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13/out	0,000	0,042	0,000	0,017	0,000
14/out	0,000	0,000	0,155	0,000	0,000
NPK (8-25-15)					
15/out	0,000	0,727	0,000	0,079	0,000
16/out	2,517	4,947	0,000	0,903	2,498
17/out	0,000	5,037	3,990	3,092	2,511
18/out	5,758	4,271	0,000	2,769	3,129
19/out	0,713	0,000	0,393	0,730	0,704
20/out	0,000	0,714	1,121	0,696	0,659
21/out	0,000	0,718	0,706	0,680	0,667
22/out	4,403	0,617	3,897	0,878	0,534
23/out	0,702	0,442	0,395	0,400	0,374
24/out	0,000	0,471	0,338	0,709	0,439
25/out	0,767	0,325	0,075	0,361	0,338
26/out	0,733	0,390	0,512	0,356	0,399
27/out	0,879	0,399	0,104	0,355	0,322
28/out	0,695	0,310	0,012	0,324	0,258
29/out	0,965	0,343	0,000	0,375	0,305
30/out	0,898	0,282	0,102	0,430	0,240
31/out	0,995	0,332	0,151	0,418	0,285
1/nov	1,065	0,316	0,164	0,463	0,315
2/nov	0,879	0,318	0,003	0,448	0,241
3/nov	0,670	0,245	0,000	0,400	0,168
4/nov	0,811	0,327	0,000	0,518	0,289
5/nov	0,855	0,390	0,014	0,582	0,356
6/nov	0,964	0,422	0,055	0,551	0,384

ANEXO K3 - Quantidade de amônio (mg) lixiviado das colunas de Gleissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	R1	R2	R3	R4	R5
Branco					
7/nov	0,805	0,443	0,050	0,525	0,354
8/nov	0,877	0,604	0,085	0,589	0,445
9/nov	0,263	0,189		0,304	0,142
10/nov	0,305				

ANEXO L1 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
Branco								
01/out								
02/out	0,175	0,369	0,171	0,232	0,174	0,000	0,202	0,218
03/out	0,272	0,530	0,286	0,315	0,272	0,000	0,157	0,161
04/out	0,289	0,584	0,335	0,243	0,228	0,682	0,140	0,111
05/out	0,254	0,526	0,293	0,304	0,279	0,205	0,115	0,097
Ureia								
06/out	0,243	0,460	0,474	0,378	0,341	0,161	0,087	0,110
07/out	0,327	0,543	0,464	0,364	0,389	0,094	0,109	0,125
08/out	0,409	0,716	0,648	0,318	0,298	0,117	0,124	0,064
09/out	0,446	0,710	0,668	0,507	0,538	0,091	0,064	0,070
10/out	0,671	0,846	0,919	0,865	0,875	0,428	0,226	0,198
11/out	1,507	1,009	0,866	1,509	1,110	0,078	0,234	0,139
12/out	0,605	0,936	0,933	0,658	0,627	0,028	0,306	0,331
13/out	0,859	1,370	0,676	7,769	0,731	0,025	0,349	0,046
14/out	0,915	1,409	0,003	1,149	1,263	0,021	0,573	0,020
NPK (8-25-15)								
15/out	1,223	2,187	0,000	2,052	1,277	0,033	0,640	0,047
16/out	1,325	1,964	0,000	1,767	1,944	0,004	0,312	0,080
17/out	1,601	2,012	0,000	2,105	1,984	0,236	0,154	0,043
18/out	3,453	1,898	1,071	1,565	1,604	0,265	0,055	0,031
19/out	0,122	2,048	1,646	1,793	0,197	0,164	0,346	0,040
20/out	1,857	2,286	0,125	2,089	2,189	0,036	0,453	0,034
21/out	1,827	2,178	0,160	1,858	1,999	0,022	0,015	0,042
22/out	1,964	2,242	0,477	2,115	2,037	0,023	0,406	0,146
23/out	2,088	2,293	0,799	2,217	1,908	0,171	0,475	0,034
24/out	2,278	2,554	0,747	2,274	2,222	0,030	0,452	0,029
25/out	0,957	1,007	0,307	0,927	0,938	0,064	0,570	0,050
26/out	1,003	1,029	0,280	0,990	0,904	0,044	0,321	0,021
27/out	0,887	0,924	0,241	0,909	0,930	0,145	0,521	0,058
28/out	1,062	0,948	0,282	0,952	0,805	0,002	0,647	0,037
29/out	1,022	0,986	0,396	0,912	0,233	0,184	0,665	0,064
30/out	4,881	6,139	0,728	6,236	2,521	0,091	0,986	0,000
31/out	4,499	7,665	0,571	6,487	6,779	0,157	1,359	0,156
1/nov	4,597	5,687	2,471	4,563	5,009	0,086	1,377	0,989
2/nov	4,624	6,139	0,649	4,770	4,711	0,118	1,450	0,207
3/nov	4,246	3,771	0,501	3,684	3,727	0,132	1,401	0,179
4/nov	4,523	3,494	0,635	3,316	2,497	0,715	1,311	0,209
5/nov	4,804	4,634	1,039	4,063	4,113	0,101	1,543	0,147
6/nov	4,574	4,292	0,767	3,955	3,909	0,112	1,483	0,412

ANEXO L1 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Latossolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
NPK (8-25-15)								
7/nov	4,723	2,980	0,934	2,870	2,773	0,349	0,015	0,481
8/nov	4,177	2,427	0,625	2,459	2,667	0,276	1,282	0,424
9/nov	2,230	1,723	0,331	1,360	2,408	0,166	0,755	0,221
10/nov	0,913	0,245	0,205		0,399	0,069	0,344	

ANEXO L2 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Cambissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
Branco								
01/out	0,009	0,012		0,008	0,065	0,047	0,033	0,004
02/out	0,017	0,030		0,014	0,153	0,045	0,002	0,005
03/out	0,000	0,032	0,012	0,001	0,000	0,064	0,025	0,006
04/out	0,026	0,010	0,031	0,013	0,128	0,075	0,025	0,005
05/out	0,014	0,010	0,010	0,010	0,015	0,080	0,010	0,007
Ureia								
06/out	0,007	0,019	0,026	0,004	0,002	0,010	0,097	
07/out	0,008	0,010	0,006	0,003	0,002	0,039	0,073	0,087
08/out	0,003	0,013	0,006	0,014	0,061	0,039	0,067	0,073
09/out	0,004	0,021	0,006	0,003	0,056	0,020	0,004	0,025
10/out	0,011	0,002	0,002	0,003	0,006	0,017	0,005	0,000
11/out	0,017	0,015	0,079	0,122	0,004	0,026	0,010	0,020
12/out	0,049	0,004	0,002	0,004	0,030	0,029	0,074	0,013
13/out	0,011	0,010	0,004	0,014	0,049	0,026	0,002	0,016
14/out	0,038	0,005	0,003	0,010	0,065	0,034	0,008	0,027
NPK (8-25-15)								
15/out	0,000	0,282	0,123	0,590	0,204	0,068	0,309	0,399
16/out	0,000	0,180	0,164	0,089	0,044	0,045	0,378	0,452
17/out	0,067	0,083	0,135	0,069	0,031	0,062	0,242	0,370
18/out	0,138	0,043	0,620	0,101	0,548	0,069	0,505	0,594
19/out	0,501	0,109	0,362	0,332	0,268	0,093	0,290	0,575
20/out	0,450	0,002	0,004	0,137	0,340	0,061	0,622	0,559
21/out	1,252	0,010	0,007	0,055	0,203	0,042	0,273	0,448
22/out	1,909	0,183	0,018	0,131	0,303	0,031	0,228	0,486
23/out	0,597	0,452	0,011	0,153	0,258	0,356	0,577	0,589
24/out	0,928	0,143	0,069	0,043	0,119	0,288	0,455	0,727
25/out	0,638	0,189	0,073	0,121	0,367	0,465	0,540	0,797
26/out	0,171	0,337	0,052	0,033	0,355	0,550	0,374	0,638
27/out	1,360	0,379	0,090	0,435	0,306	0,692	0,291	0,791
28/out	0,795	1,193	0,045	0,032	0,426	0,748	0,238	0,549
29/out	1,178	1,574	0,067	0,043	0,607	0,760	0,443	0,675
30/out	0,777	1,040	0,037	0,038	1,041	0,882	0,378	0,820
31/out	2,109	0,110	0,040	0,126	0,522	0,910	0,286	0,127
1/nov	0,809	0,027	0,439	0,154	0,700	0,995	0,564	0,091
2/nov	1,095	0,080	0,222	0,140	0,449	0,827	0,233	0,021
3/nov	0,195	0,157	0,085	0,039	0,310	0,818	0,241	0,199
4/nov	0,050	0,155	0,146	0,130	0,244	0,872	0,337	0,124
5/nov	0,755	0,129	0,181	0,043	0,147	0,911	0,543	0,220

ANEXO L2 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Cambissolo de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5) e subsuperfície (0,5-1,0 m) com três repetições (R1, R2 e R3) (continua)

Data	Superfície					Subsuperfície		
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3
NPK (8-25-15)								
6/nov	0,967	0,222	0,086	0,092	0,092	1,592	0,339	0,156
7/nov	1,265	0,088	0,242	0,131	0,320	1,738	0,344	0,265
8/nov	1,107	0,161	0,876	0,058	0,302	0,352	0,352	0,220
9/nov	0,264	0,343	0,105	0,191	0,065	0,655	0,613	0,219
10/nov		0,372		0,260	0,167		0,334	0,100

ANEXO L3 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Gleissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5)

Data	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
Branco					
01/out	0,043	0,033	0,000	0,037	0,045
02/out	0,054	0,034	0,010	0,033	0,058
03/out	0,047	0,044	0,010	0,042	0,063
04/out	0,062	0,030	0,001	0,056	0,062
05/out	0,028	0,051	0,018	0,048	0,033
Ureia					
06/out	0,057	0,009	0,010	0,014	0,041
07/out	0,162	0,049	0,034	0,019	0,087
08/out	0,130	0,020	0,054	0,028	0,102
09/out	0,166	0,019	0,044	0,028	0,122
10/out	0,033	0,005	0,011	0,007	0,047
11/out	0,203	0,013	0,058	0,030	0,145
12/out	0,228	0,021	0,069	0,032	0,158
13/out	0,237	0,011	0,047	0,040	0,169
14/out	0,208	0,014	0,038	0,050	0,156
NPK (8-25-15)					
15/out	0,071	0,025	0,049	0,016	0,169
16/out	0,198	0,000	0,104	0,032	0,236
17/out	0,564	0,056	0,097	0,070	0,251
18/out	0,000	0,000	0,187	0,073	0,323
19/out	0,360	0,077	0,100	0,063	0,369
20/out	0,027	0,029	0,284	0,011	0,011
21/out	0,087	0,243	0,062	0,491	0,185
22/out	0,492	0,090	0,220	0,072	0,101
23/out	0,316	0,102	0,697	0,079	0,748
24/out	0,562	0,126	0,162	0,118	0,562
25/out	0,609	0,134	0,649	0,129	0,725
26/out	0,627	0,124	0,441	0,154	0,815
27/out	0,775	0,149	0,410	0,824	0,238
28/out	0,662	0,113	0,126	0,184	0,818
29/out	1,091	0,169	0,349	0,277	1,139
30/out	0,907	0,143	0,806	0,274	1,016
31/out	1,167	0,185	0,357	0,330	1,013
1/nov	1,523	0,186	0,319	0,421	1,207
2/nov	1,181	0,349	0,417	1,152	1,110
3/nov	1,167	0,258	0,714	0,756	1,176
4/nov	1,552	0,473	0,691	1,539	1,886
5/nov	1,693	0,448	0,634	1,048	1,744

ANEXO L3 - Quantidade de nitrato (mg) lixiviado das colunas de Gleissolo nos solos de superfície (0-0,5 m) com cinco repetições (R1, R2, R3, R4 e R5). Continua.

Data	Superfície				
	R1	R2	R3	R4	R5
6/nov	1,809	0,710	0,791	1,283	1,769
7/nov	1,856	0,641	0,882	1,271	1,691
8/nov	1,834	0,699	1,009	1,218	2,015
9/nov	0,490	0,000	0,782	0,813	1,059
10/nov	0,047				

ANEXO M1 - Curva de calibração do processo simplificado de Salicilato de Sódio (SSP) para o padrão de NO_3^- nas soluções em água de KCl 1 mol L^{-1} como extrator.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,072	0,073	0,084	0,073	0,073	0,074	0,069	0,071	0,079	0,075	0,077	0,079
2	0,157	0,161	0,176	0,152	0,155	0,153	0,156	0,159	0,161	0,156	0,161	0,166
3	0,229	0,222	0,237	0,219	0,222	0,212	0,197	0,217	0,223	0,212	0,224	0,229
4	0,306	0,305	0,335	0,292	0,305	0,298	0,301	0,299	0,307	0,309	0,303	0,305
5	0,376	0,371	0,421	0,358	0,372	0,379	0,364	0,378	0,392	0,395	0,399	0,401

ANEXO M2 - Equações de regressão linear entre a transmitância percentual (Y) e as concentrações de NO_3^- (X) para as soluções padrão de extratos de água e solo.

Tratamento	Regressão Linear	R^2
1	$y = 0,0758x + 0,0004$	0,9994
2	$y = 0,746x + 0,0021$	0,9983
3	$y = 0,0835x$	0,9977
4	$y = 0,0726x$	0,9992
5	$y = 0,0751x$	0,9993
6	$y = 0,0746x$	0,9981
7	$y = 0,0727 x$	0,9928
8	$y = 0,075x$	0,9983
9	$y = 0,0774x$	0,9985
10	$y = 0,077x$	0,9956
11	$y = 0,0778x$	0,9973
12	$y = 0,0786x$	0,9974