

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Sarah Severo Pons

**NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS COM  
PLANTAS DE COBERTURA**

Santa Maria, RS  
2019

**Sarah Severo Pons**

**NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS COM PLANTAS DE  
COBERTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS  
2019

Pons, Sarah  
NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS COM  
PLANTAS DE COBERTURA / Sarah Pons.- 2019.  
53 p.; 30 cm

Orientador: Dalvan José Reinert  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2019

1. Plantas de cobertura 2. Disponibilidade de N na  
solução do solo e seu aproveitamento pelas plantas 3.  
Lixiviação de nitrato e amônio I. Reinert, Dalvan José II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Sarah Severo Pons. A reprodução de parte ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Santa Maria - RS, CEP: 97105-900, Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos - Prédio 42. E-mail: sarahsevero@hotmail.com.

Sarah Severo Pons

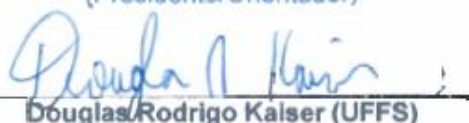
**NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS COM PLANTAS DE  
COBERTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:



Dalvan José Reinert  
(Presidente/Orientador)



Douglas Rodrigo Kaiser (UFFS)



Sandro José Giacomini (UFSM)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Osleno e Mair.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Osleno Souto Pons e Mair Severo Pons, os quais sempre se empenharam ao máximo me fornecendo suporte para que eu alcançasse meus objetivos pessoais e profissionais.

Ao namorado, amigo e companheiro, Angelo Victor de Medeiros, por ter me motivado em todos os momentos de dificuldades e me incentivado muito.

Ao orientador, professor Dalvan José Reinert, pelos ensinamentos, paciência e suporte no período do mestrado.

Aos colegas de Pós-Graduação, Monike Andrade Pereira, Vanessa dos Santos Dias, Micael Stolben Mallmann

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço também aos meus amigos, que sempre torceram por mim e me apoiaram ao longo desta trajetória.

E a todos aqueles que não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo e para minha formação pessoal e profissional, o meu muito obrigada.

*“Que não se tenha pressa, mas que não se perca tempo”.*

José Saramago

## RESUMO

### NITRATO E AMÔNIO NA SOLUÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS COM USO DE PLANTAS DE COBERTURA

AUTOR: Sarah Severo Pons  
ORIENTADOR: Dalvan José Reinert

A inclusão de plantas de cobertura do solo em sistemas de produção agrícola tem recebido atenção pela habilidade de melhorar a multifuncionalidade do solo e por muitas espécies terem a capacidade de fixação de nitrogênio (N). Após o período produtivo o N fixado ou a senescência de raízes e/ou das plantas pode induzir um excesso de nitrato no solo, que se não utilizado pelas espécies em sequência pode ser lixiviado e atingir as águas subsuperficiais. Com isso, o objetivo deste trabalho é relacionar as concentrações de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) na solução do solo com as diferentes espécies de plantas de cobertura utilizadas. O estudo foi conduzido na área experimental pertencente ao departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em um argissolo vermelho-amarelo distrófico abrupto. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos distribuídos em quatro blocos totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos avaliados foram: 1. Solo descoberto (Sdes); 2. Vegetação espontânea (Vesp); 3. Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) (AFor); 4. Grama pensacola (*Paspalum notatum*) (Gpens); 5. Aveia (*Avena strigosa*) e nabo (*Raphanus sativus*) – inverno- e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) –verão (ANFe); 6. Aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) -inverno- e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) –verão (AEFe). Para realizar a coleta da solução do solo foram instalados lisímetros de tensão, nas profundidades de 0,15 m e 0,50 m. A coleta de solução foi realizada após eventos de chuvas ocorridas durante a primavera de 2018, onde foi aplicado uma tensão de 50 kPa nos lisímetros e a solução foi coletada 48 horas após a aplicação da tensão. As amostras foram analisadas utilizando analisador de fluxo contínuo (SKALAR). Com os resultados obtidos foi possível concluir que a concentração de nitrato na solução do solo foi mais alta quando coletada a 15 cm, do que a 50 cm. O amendoim forrageiro e a vegetação espontânea tiveram maiores trocas iniciais de nitrato e os consórcios de Av+Er+F e Av+Na+F apresentaram elevadas concentrações no início da primavera. As concentrações de amônio detectadas são pequenas e não apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas de plantas de cobertura do solo.

Palavras-chave: Lisímetro. Lixiviação. Nitrogênio. Água no solo. Leguminosas.



## ABSTRACT

### NITRATE AND AMMONIUM IN THE SOIL SOLUTION IN SYSTEMS WITH COVER CROP

AUTHOR: Sarah Severo Pons  
ADVISOR: Dalvan José Reinert

The introduction of cover crops in agricultural production systems has received attention due its ability to improve the multifunctionality of the soil and for many species have the capacity of biological N fixation. After the productive period the excess of N fixed or the senescence of roots and / or plants may induce an excess of nitrate in the soil, which if not used by the species in sequence can be leached and reach subsurface waters. Therefore, the objective of this study is to relate the concentrations of mineral nitrogen (nitrate and ammonium) in the soil solution with the different species of cover crops used. The study was conducted in the experimental area belonging to the Department of Soils of the Federal University of Santa Maria (UFSM) in a Typic Hapludalf (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico abruptico – brazilian soil classification). The experimental design was a randomized block design, with six treatments distributed in four blocks totaling 24 experimental units. The evaluated treatments were: 1. Bare soil (Sdes); 2. Spontaneous vegetation (Vesp); 3. Forage peanuts (*Arachis pintoi*) (AFor); 4. Grass pensacola (*Paspalum notatum*) (Gpens); 5. Oats (*Avena strigosa*) and turnip (*Raphanus sativus*) -winter- and cowpea (*Vigna unguiculata*) (ANFe); 6. Oats (*Avena strigosa*) and vetch (*Vicia sativa*) -winter- and cowpea (*Vigna unguiculata*) (AEFe). In order to collect the soil solution, suction lysimeters were installed at the depths of 0.15 m and 0.50 m. The solution was collected after rainfall events during the spring of 2018, where a suction of 50 kPa was applied to the lysimeters and the solution was collected 48 hours after suction application. Samples were analyzed using continuous flow analyzer (SKALAR). The nitrate concentration in the soil solution was higher when collected at 15 cm, than at 50 cm. Forage peanut and spontaneous vegetation had higher nitrate concentration in the soil solution at initial period of spring and Oats + Vetch + Cowpea and Oats + Turnip+ Cowpea consortia had high concentrations at the end of the spring. The detected ammonium concentrations are small and showed no statistical differences between the ground cover plant systems.

Keywords: Lysimeter. Leaching. Nitrogen. Water in the soil. Legumes

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Principais formas e fluxos de N no solo (Stevenson, 1986).....	17
<b>Figura 2:</b> Perfil de Argissolo vermelho-amarelo distrófico abrupico.....	23
<b>Figura 3:</b> Visão geral do experimento.....	25
<b>Figura 4:</b> Instalação dos lisímetros.....	26
<b>Figura 5:</b> Cronograma de datas que foram realizadas coletas da solução do solo ..	26
<b>Figura 6:</b> Precipitação durante o período das avaliações.....	27
<b>Figura 7:</b> Temperatura do ar durante o período das avaliações.....	27
<b>Figura 8:</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade no dia 19 de julho, 11 de agosto e 26 de agosto. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	29
<b>Figura 9:</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 18 de setembro e 03 de outubro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	30
<b>Figura 10:</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 15 de novembro, 19 de novembro, 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	31
<b>Figura 11:</b> Concentração de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.....	33
<b>Figura 12:</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade no dia 19 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	34
<b>Figura 13:</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 28 de outubro, 02 de novembro e 15 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	35
<b>Figura 14</b> Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de novembro e 02 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	36
<b>Figura 15:</b> Concentração de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade no dia 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	36

<b>Figura 16:</b> Concentração de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.....	37
<b>Figura 17:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 1 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpens - Grama pensacola .....	39
<b>Figura 18:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 02 de novembro, 15 de novembro e 19 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	40
<b>Figura 19:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	41
<b>Figura 20:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.....	42
<b>Figura 21:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	43
<b>Figura 22:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 28 de outubro, 02 de novembro e 15 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	44
<b>Figura 23:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de novembro, 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFé- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola .....	45
<b>Figura 24:</b> Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Composição granulométrica do perfil de solo do local do experimento. Santa Maria, RS. ....	24
---	----

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1	PLANTAS DE COBERTURA: NATUREZA E CICLO.....	15
2.2	DISPONIBILIDADE DE N NA SOLUÇÃO DO SOLO E SEU APROVEITAMENTO PELAS PLANTAS .....	16
2.3	LIXIVIAÇÃO DE NITRATO .....	18
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>21</b>
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....	22
5.2	TRATAMENTOS .....	23
5.3	CULTURAS E TRATOS CULTURAIS .....	24
5.4	COLETA DA SOLUÇÃO DO SOLO E ANÁLISES .....	25
5.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem vivenciado mudanças significativas no manejo do solo nas últimas décadas, anteriormente havia o predomínio do sistema de preparo convencional (SPC) que gerou graves problemas de degradação do solo, pois o mesmo era caracterizado pelo revolvimento intensivo do solo. A partir da década de 80, começou a se difundir o sistema de plantio direto (SPD), onde ocorre a mínima mobilização do solo e manutenção dos restos culturais sobre a superfície com objetivo de corrigir problemas que o preparo convencional estava causando ao solo. Essa mudança possibilitou grandes avanços na produtividade das culturas, melhoria dos sistemas de produção agrícola e aumento da agricultura em escala comercial.

O sistema de plantio direto em longa duração juntamente com plantas de cobertura influencia no armazenamento e nos mecanismos de entrada e perdas de C e N no solo. Normalmente esta prática implica em maiores estoques de C e N no solo do que no preparo convencional, devido à preservação da matéria orgânica (MO) e menor mineralização dos resíduos na superfície do solo. Deste modo, tem sido observado que a inclusão de leguminosas em sistemas de culturas de cobertura contribui não só para a entrada de C, mas de N atmosférico no solo, sendo muito importante para o aumento de COT e suas frações. O carbono orgânico total (COT) é usado para descrever a medição de contaminantes orgânicos em um sistema de água e denomina toda a matéria orgânica presente em uma amostra.

As plantas de cobertura tem efeito na dinâmica do N do solo, seja por fixação biológica, reciclagem ou taxa de mineralização e devido a isso se tem o interesse em determinar o efeito de diferentes espécies neste ciclo. Isto é feito na tentativa de se obter benefícios da dinâmica do N na produção de culturas agrícolas e para melhor entendimento destes processos.

O nitrogênio (N) é um elemento muito dinâmico nos sistemas agrícolas, sendo influenciado pelo manejo do solo, pelas condições climáticas e pelas propriedades físicas e químicas do solo. Diversas ações alteram a dinâmica do N e estão condicionadas ao solo e ao clima, devendo ser analisada considerando as múltiplas possibilidades do N no sistema solo-planta, e também sua eventual perda. Sendo assim, o fim do revolvimento do solo, com a incorporação dos resíduos ou a manutenção de plantas de cobertura deve propiciar uma dinâmica diferente do nitrogênio no solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PLANTAS DE COBERTURA

A utilização de plantas de cobertura como forma de promover a manutenção e aumento de produção de culturas de interesse agrícola tem sido reportada como uma prática milenar. Estudos reportam a utilização de plantas de cobertura como prática de adubação do solo a cerca de 3.000 anos, sendo esta prática indispensável para antigas civilizações (FLORENTÍN et al., 2011).

A habilidade destas espécies em melhorar a multifuncionalidade de sistemas agrícolas, principalmente em sistemas conservacionistas tem chamado atenção e tem sido alvo de novas pesquisas (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2015). A utilização de espécies de plantas de cobertura é importante para o sequestro de carbono e contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa nos sistemas de produção agrícola (LAL, 2015).

Tendo em vista que a compactação do solo tem afetado muitas áreas sob plantio direto (ABREU et al., 2004.; TORMENA et al., 2007.; KAISER, 2010), a utilização de plantas de cobertura pode conter a compactação do solo e reduzir a susceptibilidade do solo à compactação. O resultado deste benefício irá depender da espécie cultivada, do crescimento da cultura, das características e aporte de biomassa, principalmente de raízes. A utilização de espécies com sistemas radiculares agressivos, como o nabo forrageiro, pode reduzir a compactação do solo devido a habilidade das raízes em penetrar nas camadas compactadas, atuando como um formador de bioporos após a decomposição das raízes (CHEN e WEIL, 2010).

Trabalhos como o de Haruna e Nkongolo (2015), Blanco-Canqui et al (2011) e Steele et al (2012) reportam a redução da densidade do solo, aumento da porosidade do solo e do conteúdo de água no solo além de aumento na infiltração de água no solo e no diâmetro geométrico de agregados ao utilizar diferentes espécies de plantas de cobertura do solo em sistemas de produção com longo histórico de utilização (acima de 10 anos).

O tempo de utilização de plantas de cobertura em sistemas de produção é um dos fatores que afetam as alterações em propriedades do solo. Trabalhos realizados em curto prazo, como o de Mukherjee e Lal (2015) e Mubiru e Coyne (2009), não apresentaram diferença na densidade do solo e na estabilidade de agregados. No

entanto, nas camadas superficiais do solo (0 a 0,1 m) e inferiores, constatou-se tendência de redução da densidade e aumento na estabilidade de agregados em água. Os autores indicam períodos mais longos de avaliação para ser observado resultado na densidade do solo.

Quando avaliado as propriedades do solo ligadas a fluxos de água e ar, a utilização de plantas de cobertura apresenta resultados positivos. Nos trabalhos de Abreu (2004) e Hubbard et al (2013), os autores verificaram que a adição de culturas de cobertura de estação quente aumentou a condutividade hidráulica saturada e o conteúdo volumétrico de água nos tratamentos em relação ao solo sem cultivo.

Outra propriedade importante ligada aos fluxos no solo é a permeabilidade do solo ao ar, pois determina a geometria e continuidade do espaço poroso do solo, responsável pelo processo de difusão de gases no solo. Segundo Chen et al (2014), a permeabilidade ao ar pode ser um bom indicador para caracterizar as mudanças de estrutura do solo, sendo muito sensível a macroporosidade do solo e a continuidade dos poros (Horn, 2009). Em estudo conduzido por Chen et al (2014), os autores constataram aumento na permeabilidade ao ar com a utilização de plantas de cobertura em níveis mais altos de compactação do solo, indicando o potencial das espécies utilizadas (nabo forrageiro, colza e centeio) em romper as camadas compactadas e formar bioporos, responsáveis pelos fluxos de água e ar no solo.

## **2.2 DISPONIBILIDADE DE N NA SOLUÇÃO DO SOLO E SEU APROVEITAMENTO PELAS PLANTAS**

O N é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição de biomoléculas fundamentais para o desempenho das principais funções metabólicas da planta, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e enzimas (BISWAS; MA, 2016; FAGERIA; BALIGAR; JONES, 2011). Uma vez que as plantas absorvem N especialmente na forma de íons ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e em alguns casos aminoácidos de baixo peso molecular (HALVORSON et al., 2016; JÄMTGÅRD; NÄSHOLM; HUSS-DANELL, 2010; OSTERHOLZ et al., 2017), conhecer a dinâmica desse nutriente na solução do solo permite identificar forma e quantidade desse elemento que estão sendo adicionados ao solo e, também, quantidade dele que está sendo transferida do perfil do solo para outros compartimentos do ambiente como o lençol freático por exemplo.



A solução do solo pode ser definida como a fase aquosa associada com a fase sólida do solo que ocupa o seu espaço poroso. A solução do solo é um sistema aberto, dinâmico, que troca matéria e energia com sua vizinhança e sua composição é resultante das inúmeras reações que ocorrem com as outras fases que constituem o solo (MEURER, 2016). É na solução do solo (Figura 1) que ocorrem as reações químicas edáficas e de onde as plantas absorvem os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento. Portanto, seu conhecimento é importante tanto para aspectos de fertilidade do solo e nutrição das plantas como para áreas de interesse ambiental (CABRERA CORRAL et al., 2016; SOUZA et al., 2013; WEIHERMÜLLER et al., 2007).

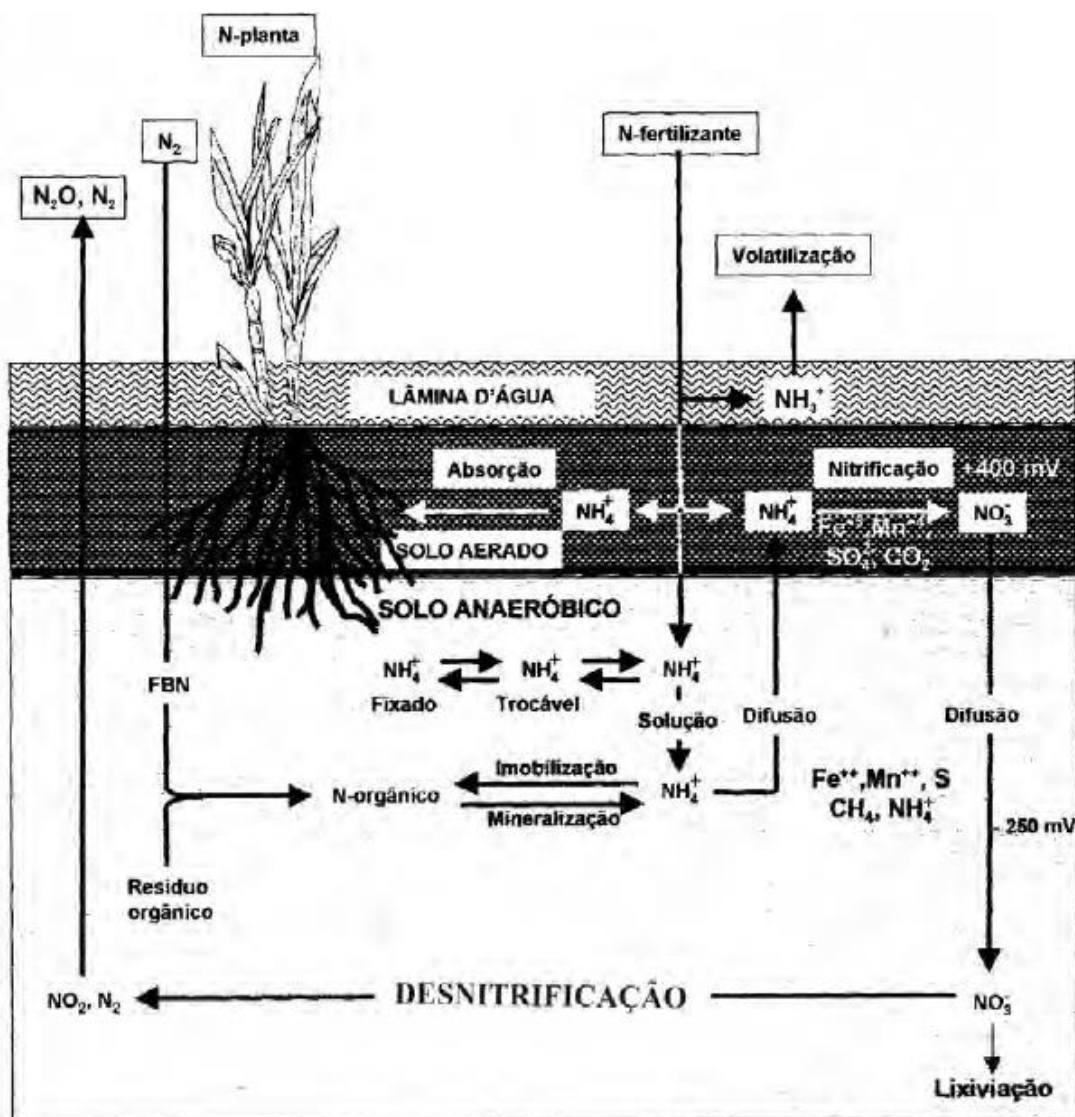


Figura 1: Principais formas e fluxos de N no solo (Stevenson, 1986).

Em nível de Brasil, a grande maioria das pesquisas voltadas ao estudo da dinâmica do N, busca melhorar o seu aproveitamento pelas culturas, ou busca viabilizar sistemas de manejo com plantas de cobertura ou dejetos de animais.

A disponibilidade dos íons para as raízes das plantas é controlada por várias reações, tais como: equilíbrio entre ácidos e bases, complexação iônica, precipitação e dissolução de sólidos, oxidação, redução e trocas iônicas. A cinética dessas reações e a taxa de absorção biológica controlam a concentração dos íons na solução do solo (CAMPBELL; KINNIBURGH; BECKETT, 1989; MIRANDA et al., 2006; RAIJ, 1991), além de também serem influenciadas por fatores climáticos como a temperatura e chuvas. Existe uma condição de equilíbrio entre os componentes da solução do solo e os componentes da fase sólida e, nesta interface, fase sólida – fase líquida, ocorrem importantes reações químicas, com transferência de espécies de uma fase para outra (MEURER, 2016).

### 2.3 LIXIVIAÇÃO DE NITRATO

As atividades agrícolas têm contribuído ao aumento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas. O nitrogênio aplicado ao solo está sujeito a várias transformações bioquímicas, sendo muitas delas responsáveis pela redução da eficiência no seu uso. O nitrato possui baixa energia de ligação com os colóides do solo e, na solução do solo, está sujeito à absorção pelas plantas ou microrganismos, pode ser perdido pela lixiviação ou sofrer denitrificação. A denitrificação é um processo natural caracterizado pela redução bioquímica de formas de N oxidadas para formas gasosas. De acordo com Moreira & Siqueira (2002), essas transformações são realizadas por bactérias anaeróbicas facultativas (gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e outros). No entanto, para ocorrer a desnitrificação é necessário ter condições de baixo suprimento de oxigênio (anaerobiose) e presença de compostos orgânicos facilmente decomponíveis. O nitrato não utilizado pela cultura e que se encontra abaixo da zona radicular pode passar de nutriente a poluente da água.

A lixiviação do nitrato é caracterizada pela sua movimentação para camadas profundas do solo, abaixo da zona radicular das culturas, podendo atingir o lençol freático. O deslocamento do nitrato é favorecido pela sua alta solubilidade e baixa energia de adsorção do ânion  $\text{NO}_3^-$  com os colóides do solo, principalmente em solos com predomínio de cargas negativas, o que o torna extremamente móvel e seu movimento diretamente ligado ao fluxo de água no solo. Em solos tropicais altamente intemperizados, a lixiviação de nitrato no perfil é retardada pela presença de cargas positivas nos horizontes subsuperficiais (Alcântara & Camargo, 2005).

A carga de nitrato na água de superfície é função do volume transportado (quantidade de água) e da concentração de nitrato na água. O volume de água de drenagem é função de características climáticas e propriedades do solo (precipitação, textura, taxa de infiltração). A distribuição temporal da precipitação ao longo do ano também influencia a drenagem (Randall & Mulla, 2001). Em períodos de altas precipitações, o solo permanece saturado por mais tempo, favorecendo o fluxo de água no solo e permitindo que parte considerável da água drene abaixo da zona radicular ficando inacessível para as plantas (Lier, 1999) e recarregando o lençol freático. Em solos rasos, a saturação pode ser atingida mais rapidamente durante as precipitações, o que aumenta o escoamento e também favorece o fluxo saturado no solo. Solos de textura grosseira e pedregosa possuem menor capacidade de retenção de água e maior condutividade hidráulica (Hillel, 1998), o que intensifica a lixiviação de nitrato.

A concentração de nitrato na água de drenagem está relacionada com o sistema de rotação de culturas, mais a quantidade e frequência de aplicação do fertilizante nitrogenado. Randall et al., (1997), trabalhando com culturas perenes e anuais, encontraram perdas de nitrato de 30 a 50 vezes maiores para culturas anuais quando comparadas às culturas perenes. Weed & Kanwar (1996) encontraram maiores concentrações e perdas de nitrato em parcelas plantadas continuamente com milho quando comparadas com as parcelas que receberam a rotação milho/soja. Costa et al. (2002), avaliando a concentração de nitrato em águas subterrâneas, encontraram que a distribuição espacial das altas concentrações de nitrato estava relacionada à intensidade de cultivo do solo. Áreas cultivadas com batata e milho apresentavam os maiores níveis de nitrato na água subterrânea comparada às áreas cultivadas com plantas forrageiras e pastagens.

A preservação dos recursos naturais e a busca de uma agricultura menos impactante sobre o solo e a água são fatores essenciais para a manutenção da capacidade produtiva em longo prazo. A degradação do ambiente e a qualidade da água têm sido avaliadas e discutidas em várias partes do mundo, sendo a agricultura apontada como uma fonte de contaminação difusa (Rheinheimer et al, 2003) e a lixiviação de nitrato através do perfil do solo, como um dos principais problemas de impacto sobre a qualidade da água (Goss et al, 1995., Grignani et al., 2000; Rao & Puttanna, 2000).

### 3 HIPÓTESES

- A maior concentração de nitrato será encontrada no tratamento que utiliza o Amendoim forrageiro (*Arachis pinto*);
- Os maiores picos de concentração de nitrato ocorrem no momento em que cessa o crescimento das plantas de cobertura, onde ocorre sua morte e a liberação de nutrientes para a solução do solo.

## **4 OBJETIVO GERAL**

Verificar as concentrações de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) na solução do solo e relacionar com as diferentes espécies de plantas de cobertura utilizadas.

### **4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificar a concentração de nitrato e amônio na solução do solo na zona radicular e abaixo da zona radicular das plantas de cobertura;
- Avaliar a disponibilidade e as formas de N na solução do solo durante o cultivo de diferentes plantas de cobertura.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O estudo foi realizado na área experimental pertencente ao departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. A área situa-se na zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense, também conhecida por Depressão central e a escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro (SARTORI, 1979). O clima da região é o Cfa da classificação de Köppen, o qual corresponde ao clima subtropical úmido, sem estiagens, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, e a temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C (MORENO, 1961). O solo da área de estudo é classificado como argissolo vermelho-amarelo distrófico abrúptico (EMBRAPA., 2013). Na Figura 2 pode ser observado o perfil do solo do local do estudo e na Tabela 1 é apresentada a composição granulométrica e espessura dos horizontes.



Figura 2: Perfil de Argissolo vermelho-amarelo distrófico abrúptico.

Tabela 1: Composição granulométrica do perfil de solo do local do experimento. Santa Maria, RS.

Horizonte	Profundidade	Areia	Areia Fina	Silte	Argila
	-- m --				
Ap	0 - 0,1	689,8	469,1	225,5	84,7
A1	0,1 - 0,3	652,1	460,7	235,3	112,6
A2	0,3 - 0,5	620,4	454,4	263,8	115,7
E	0,5 - 0,7	620,8	474,4	301,4	77,8
Bt1	0,7 - 0,8	413,7	307,9	237,6	348,7
Bt2	0,8 - 1,25 +	340,1	260,5	198,3	461,6

Fonte: O Autor.

## 5.2 TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado na instalação do experimento foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos distribuídos em quatro blocos totalizando 24 unidades experimentais de 3 X 14,5 m, área de 43,5 m<sup>2</sup> por unidade experimental.

Para avaliar o efeito da utilização de plantas de cobertura, implantaram-se seis tratamentos compostos por:

- a) Vegetação espontânea;
- b) Solo descoberto;
- c) Amendoim forrageiro (*Arachis pintoï*);
- d) Grama pensacola (*Paspalum notatum*);
- e) Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) + nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) / Feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.);
- f) Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) + ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) / Feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.).

Estes tratamentos foram testados por apresentar potencial para aumentar o teor de C e N no solo, melhorar as condições físico-hídricas com vistas ao aumento da infiltração de água no solo. Assim, apresentam potencial para serem utilizadas em áreas agrícolas, em áreas de produção com plantas perenes e em áreas com produção de culturas anuais.



### 5.3 CULTURAS E TRATOS CULTURAIS

O experimento foi iniciado em 2016, onde antes da implantação das culturas realizou-se dessecação química das parcelas com uma dose de 4 L ha<sup>-1</sup> de glifosato. No tratamento solo descoberto foram realizadas capinas químicas esporadicamente, este método foi escolhido para evitar revolvimento do solo pelo arranque ou capina manual. O tratamento vegetação espontânea manteve-se a vegetação natural da área, composta principalmente por buva (*Conyza bonariensis*), grama (*Paspalum notatum*), aveia (*Avena strigosa* Schreb), azevém (*Lolium multiflorum*), picão preto (*Bidens pilosa*) e serralha (*Sonchus asper*).

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) e a Grama pensacola (*Paspalum notatum*) foram semeados a lanço e mantidas ao longo do ano. As culturas de aveia + nabo e aveia + ervilhaca foram semeadas a lanço no período de outono inverno. Para as culturas de aveia e nabo utilizaram-se as porcentagens de 30% e 70% do total recomendado por hectare, sendo 100 e 15 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. As culturas de aveia e ervilhaca foram semeadas com porcentagens de 45 e 55% do total recomendado por hectare, sendo 100 e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



Figura 3: Visão geral do experimento.



#### 5.4 COLETA DA SOLUÇÃO DO SOLO E ANÁLISES

Para a coleta da solução do solo foram instalados lisímetros de tensão equipados com cápsulas porosas de cerâmica, a 0,15 m e a 0,50 m de profundidade. Para a instalação dos lisímetros, foram abertos buracos com auxílio de uma pá e de um trado holandês, inserido o lisímetro a um ângulo de 45°, e o espaço restante preenchido com bentonita (argilomineral expansivo), para proporcionar melhor vedação e evitar o fluxo lateral entre o solo e a parede do lisímetro (Figura 4).



Figura 4: Instalação dos lisímetros.

Cada lisímetro de tensão foi composto de um tubo de PVC (5 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento), conectado na extremidade inferior a uma cápsula porosa de cerâmica (6,1 cm x 6,5 cm), com diâmetro de poro de 1 mm. Na extremidade superior, o tubo foi vedado com borrachas em silicone, onde era aplicada uma tensão de -50 kPa com o auxílio de uma bomba de vácuo manual. As aplicações da tensão de sucção eram realizadas logo após os eventos de chuva superiores a 15 mm e após um período de 30 horas eram feitas as coletas de solução com auxílio de uma bomba de pressão manual. As datas nas quais foram feitas coletas estão na Figura 5.

19/jul 11/ago 26/ago 18/set 03/out 28/out 15/nov 19/nov 02/dez 20/dez

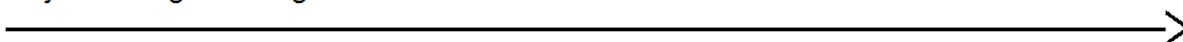


Figura 5: Cronograma de datas que foram realizadas coletas da solução do solo.

A solução extraída do solo foi armazenada em frascos individuais para cada ponto de coleta e mantidas congeladas em freezer. Na realização das análises as amostras foram descongeladas e foi determinado  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , utilizando o

autoanalisador de fluxo contínuo San++ (Automated Wet Chemistry Analyzer, SKALAR, Breda – Netherland).

Para as condições deste estudo, observa-se que os dados de precipitação e temperatura se mantiveram regulares durante o período avaliado (Figura 6 e 7).

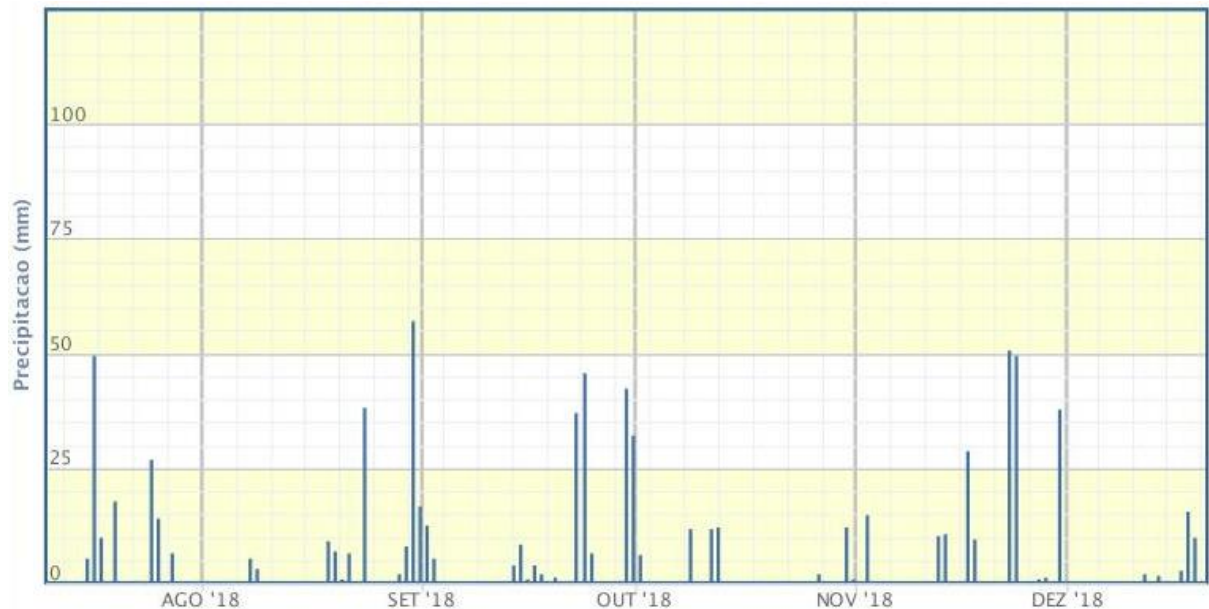


Figura 6: Precipitação durante o período das avaliações.



Figura 7: Temperatura do ar durante o período das avaliações.

## 5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados pela ANOVA e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey 5%.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$ , no período do inverno para a profundidade de 15 cm ocorreram nos tratamentos com vegetação espontânea e com amendoim forrageiro (Figura 8). Semelhante ao observado por Leimer (2015), onde a presença de leguminosas aumentou a concentração de  $\text{NO}_3^-$  e a presença de gramíneas diminuiu a concentração de  $\text{NO}_3^-$ . Isto se deve ao fato do amendoim forrageiro ser uma cultura permanente, que durante o inverno é atingida por geadas e toleram as condições climáticas de frio. Nesse período, as baixas temperaturas reduzem a evapotranspiração e as precipitações frequentes favorecem a manutenção de um elevado teor de água no solo, possibilitando a coleta da solução do solo em todas as unidades amostrais. Além disso, plantas perdem suas folhas devido a menor atividade biológica, para economia de energia e manutenção das atividades básicas para sua sobrevivência, fazendo com que esta fonte de matéria orgânica seja depositada no solo. Este comportamento também foi verificado por outros autores, onde a concentração de N aumentou quando se aumentou o número de leguminosas na rotação e não foram utilizadas plantas de cobertura (Plaza-Bonilla et al., 2015).

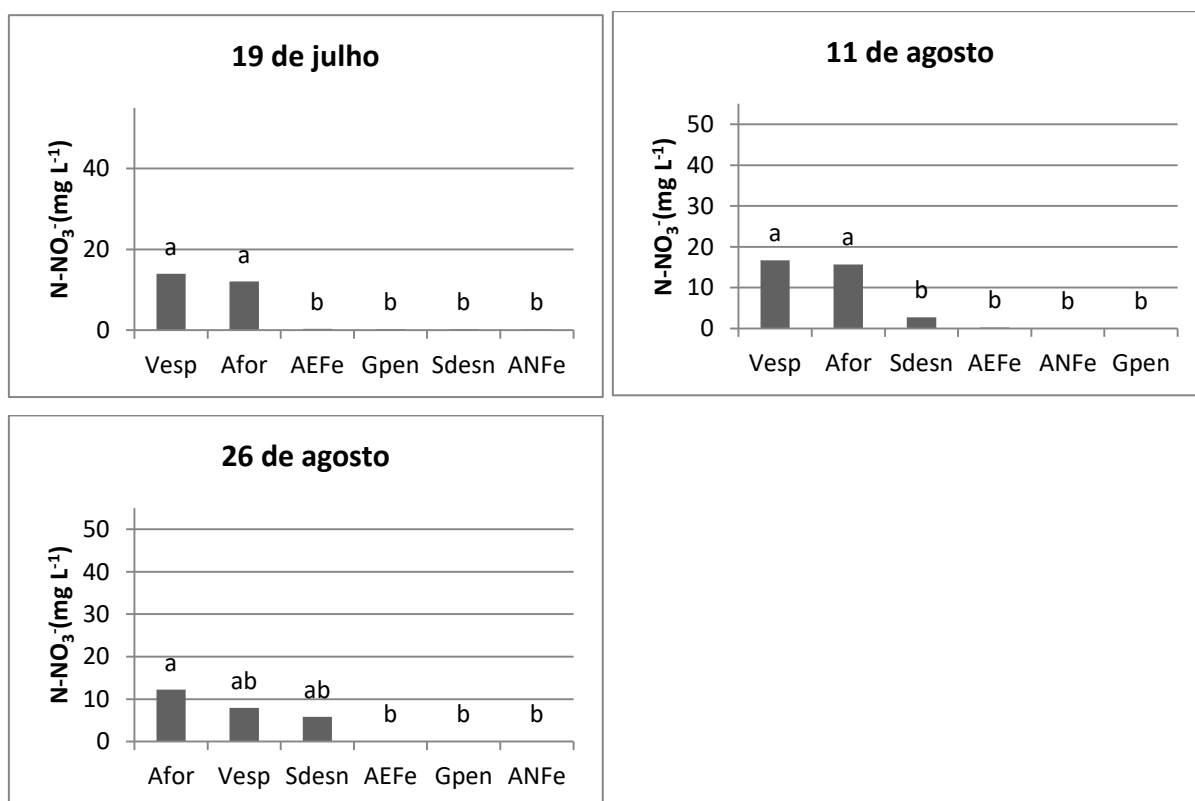


Figura 8: Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade no dia 19 de julho, 11 de agosto e 26 de agosto. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim de agosto

forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Ao final do inverno as concentrações de nitrato na solução do solo decrescem e no começo da primavera os valores se tornam semelhantes em todos os tratamentos avaliados (Figura 9). Este comportamento ocorre por se tratar do momento em que as plantas começam ou retomam seu crescimento, com maior exigência e absorção de nitrogênio do solo. Tal comportamento foi observado por outro estudo, onde houve uma redução de 65-70% na lixiviação de nitrato das parcelas manejadas em comparação com o controle de pousio, porque as raízes das plantas na superfície do solo removeram N e água que teriam sido perdidas do perfil (Wyland et al. 1996). Todas estas condições fazem com que o nitrogênio disponível no solo seja absorvido pelas plantas e a lixiviação seja muito reduzida. As culturas de cobertura, portanto, proporcionaram vantagem, reduzindo significativamente a lixiviação de nitrato (Wyland et al. 1996).

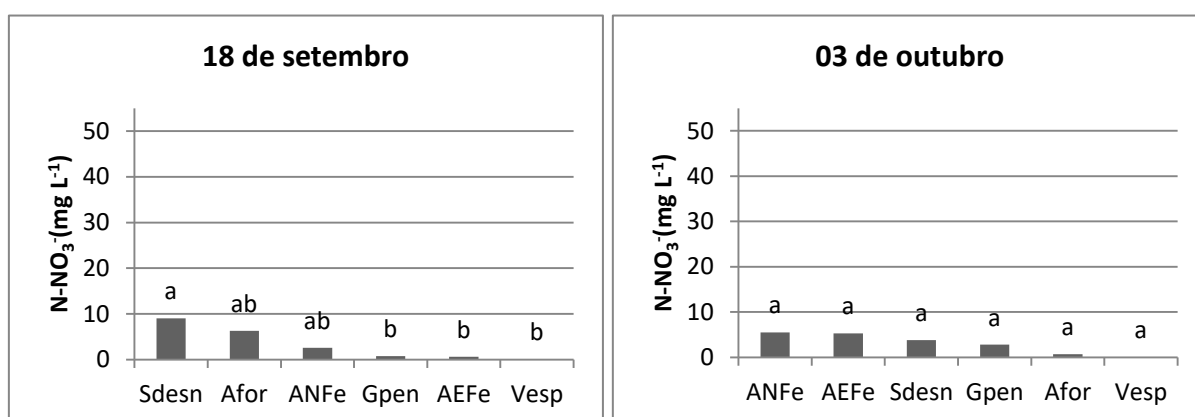


Figura 9: Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 18 de setembro e 03 de outubro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

No início do monitoramento, quando as chuvas foram mais frequentes, o solo se mantinha com maior umidade e o número de coletas foi maior, independente do tipo de manejo adotado. Após esse período (19/julho a 03/outubro), não se obteve coleta de solução do solo nos lisímetros instalados a 15 cm de profundidade nos dias 28 de outubro e 02 de novembro, pois in loco a umidade do solo estava baixa. Isto se deve às chuvas de baixa intensidade, altas temperaturas e também pela alta demanda de evapotranspiração proporcionada pela fase de intenso crescimento vegetativo das

plantas. Outros fatores que podem estar relacionados com a falta de coleta de solução na profundidade de 15 cm é a baixa capacidade de armazenamento de água na camada superficial do solo e o fluxo preferencial via macroporos.

Novas coletas de solução só foram possíveis a partir do dia 15 de novembro na fase altamente ativa do ciclo das plantas de cobertura. Os maiores picos de nitrato foram observados nos tratamentos com consórcio de Aveia + ervilhaca /Feijão caupi, Aveia + nabo / Feijão caupi e no tratamento com solo desnudo, na profundidade de 15 cm (Figura 10). Estes resultados se devem ao fato de os tratamentos AEF e ANFe terem terminado seu ciclo de crescimento e não utilizarem mais o nitrogênio disponível no solo, deixando mais nitrato na solução. É importante destacar, que as concentrações de nitrato verificadas nos dias 15 e 19 de novembro para o tratamento AEF foram as mais altas observadas em todo o período do estudo.

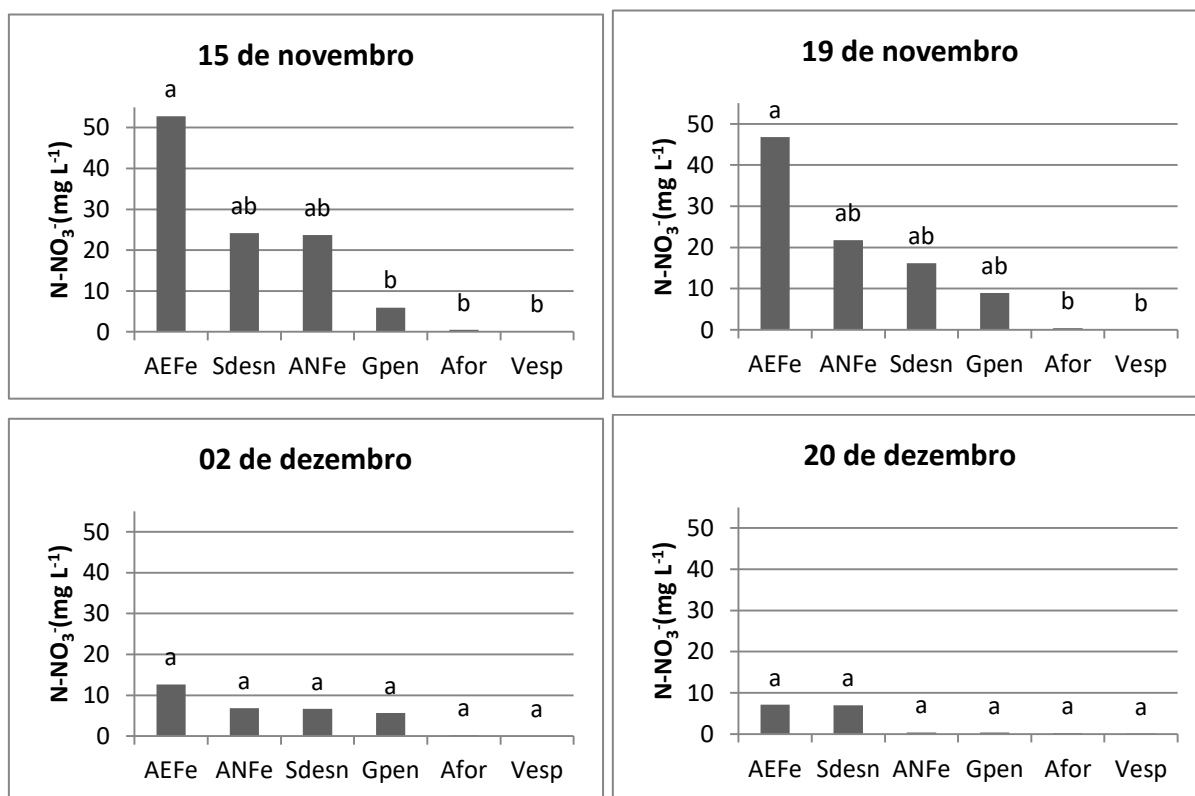


Figura 10: Concentrações de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 15 de novembro, 19 de novembro, 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEF- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Na Figura 10, os tratamentos com AFor e Vesp apresentaram baixos teores de nitrato na solução, pois estão em fase de crescimento com demanda de nitrato disponível para realização de suas funções metabólicas, mesmo que o AFor seja um bom fixador biológico de nitrogênio. Sendo assim, o nitrato não fica propenso a lixiviação e para profundidades abaixo da zona de raízes das plantas.

A concentração de nitrato na solução do solo foi variável ao longo do tempo entre os diferentes tratamentos e para cada tratamento (Figura 11). A maior concentração de nitrato na solução do solo ocorreu no tratamento AEF<sub>e</sub>, onde a média chegou a 52,75 mg.L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no dia 15 de novembro. Esse período foi caracterizado pela retomada de precipitações frequentes, mantendo maior quantidade de água no solo, permitindo a coleta da solução e também com aquecimento do solo com consequente maior taxa de decomposição dos aportes de resíduos e da matéria orgânica existente no solo.

Em todos os tratamentos, ocorreram variações nas concentrações de nitrato na solução do solo ao longo do tempo, podendo isso ser atribuído à absorção do nitrogênio da solução do solo pela cultura em crescimento, imobilização microbiana e também pelas perdas por escoamento, desnitrificação e lixiviação. Os nutrientes solubilizados ficam em equilíbrio entre a solução e a fase sólida do solo e à medida que os nutrientes são retirados da solução, pela absorção radicular ou por perda na lixiviação, nova fração de nutrientes da fase sólida é disponibilizada, mantendo-se o equilíbrio. No entanto, o nitrato se apresenta predominantemente na forma livre na solução do solo e devido ao seu movimento ocorrer por fluxo de massa, seguindo o fluxo da água no solo, tende a ser lixiviado.

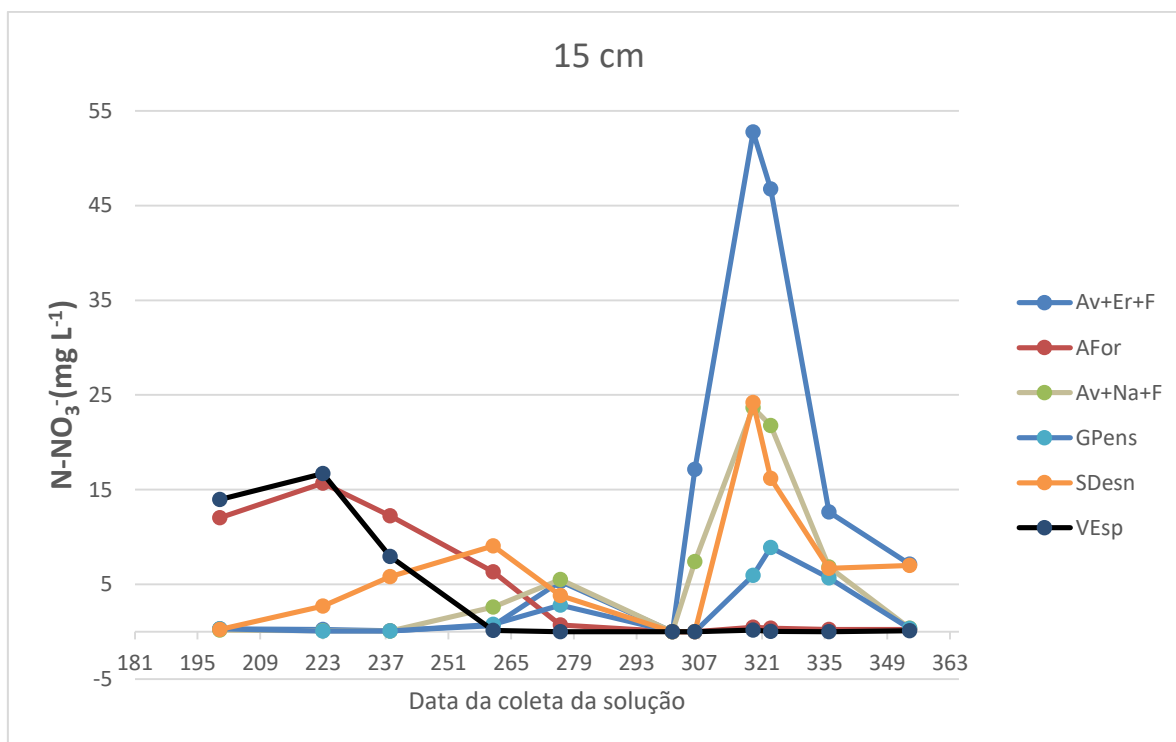


Figura 11: Concentração de nitrato na solução do solo a 15 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. AFor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; SDes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.

Para a profundidade de 50 cm, os resultados observados demonstraram um comportamento semelhante ao encontrado na camada de 15 cm, onde na fase inicial das observações os tratamentos com AFor e Vesp apresentaram altas concentrações de nitrato (Figura 12). Isto demonstra que o nitrato disponível na solução do solo quando em concentração maior na solução migra para camadas mais profundas. Maiores teores são esperados para plantas permanentes neste período de inverno, devido as chuvas serem mais frequentes e a ocorrência da senescência de raízes e aportes de resíduo destas espécies. Este processo de senescência gera material orgânico, que é depositado no solo e se torna fonte de nitrato disponível, tornando alto o teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo.



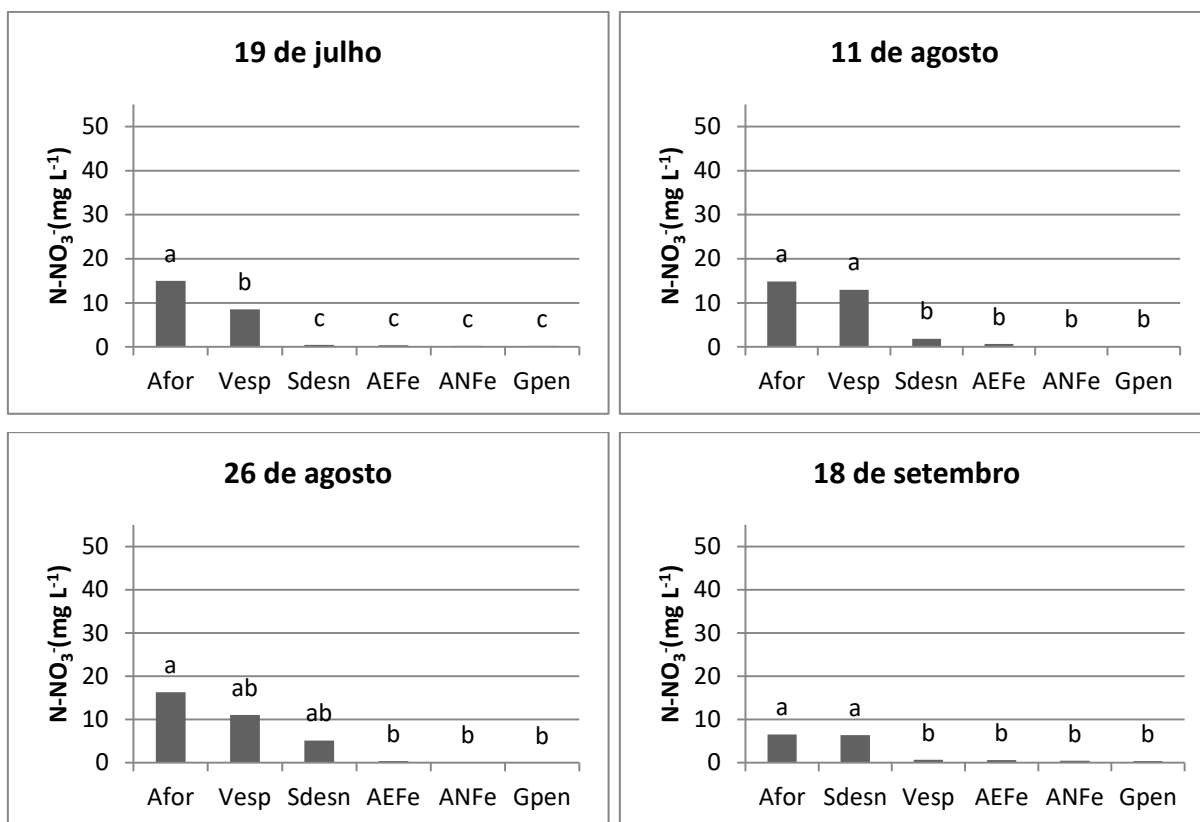


Figura 12: Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade no dia 19 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

No período compreendido entre 03 de outubro até 02 de novembro todos os tratamentos tiveram uma baixa concentração de nitrato na solução do solo, onde não houve diferença significativa entre os diferentes manejos (Figura 13). Nesta fase todos estavam em pleno crescimento e houve poucas chuvas volumosas. Mesmo sem apresentar diferença estatística, nota-se que no dia 15 de novembro o tratamento AEFfe possui um valor mais elevado de nitrato na solução, demonstrando uma forte tendência a se destacar diante dos demais tratamentos.

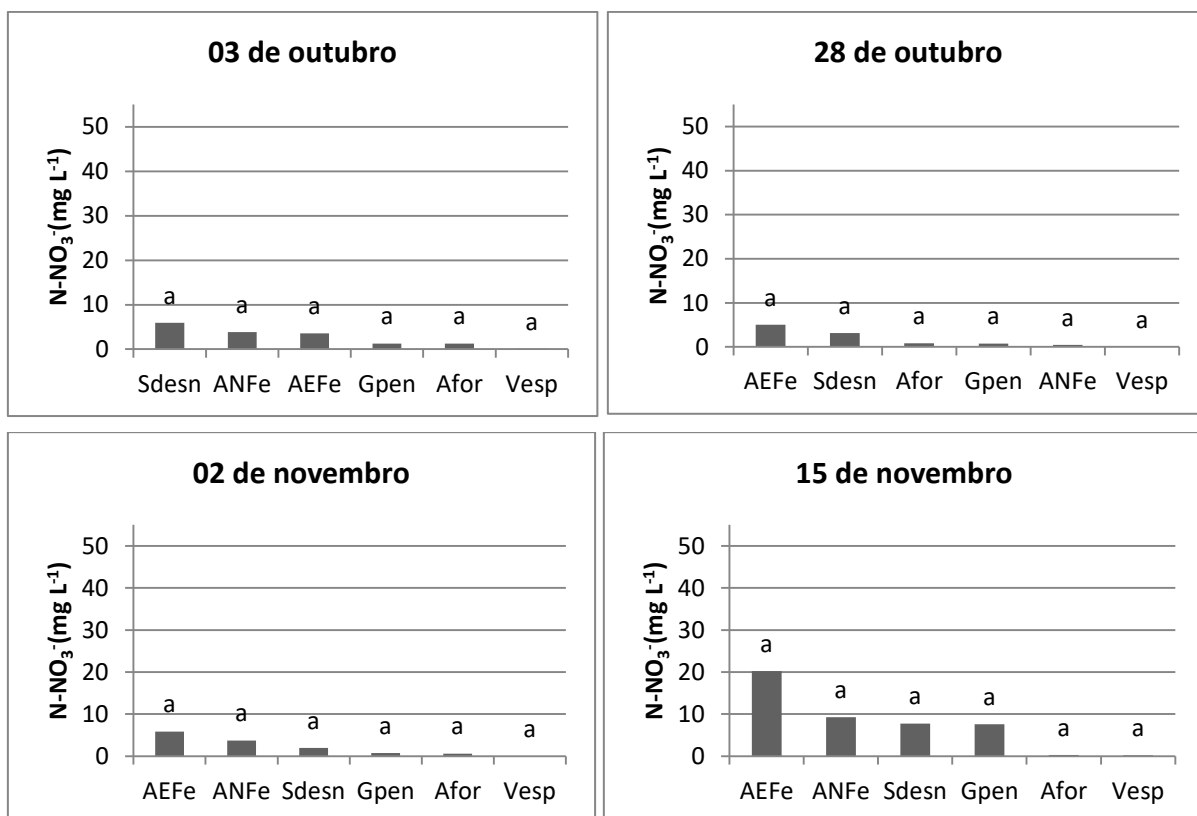


Figura 13: Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 28 de outubro, 02 de novembro e 15 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

É interessante notar que nos dias 28 de outubro e 02 de novembro não houve solução disponível para coleta nos lisímetros instados a 15 cm, porém nos que estavam a 50 cm de profundidade havia a presença de solução. Este fato pode ser atribuído à baixa capacidade de armazenamento de água na camada superficial do solo e ao fluxo preferencial via macroporos.

A concentração de nitrato na solução do solo nos dias 19 de novembro e 02 de dezembro apresenta um valor elevado no tratamento AEFfe, diferindo significativamente dos demais avaliados (Figura 14). Além disso, os tratamentos ANFe e Sdesn também demonstram resultados altos, sendo considerados estatisticamente semelhantes. Estes resultados estão associados ao ciclo destas culturas que foi finalizado. Neste período as plantas não estão mais utilizando o nitrato para seu desenvolvimento com aporte da biomassa produzida pela Aveia e Ervilhaca com consequente transporte de nitrato para profundidades maiores, no caso medido para a profundidade de

50 cm. A lixiviação de nitrato nessas condições fica facilitada com potencial alto perda deste nutriente ao fim do ciclo das plantas de cobertura.

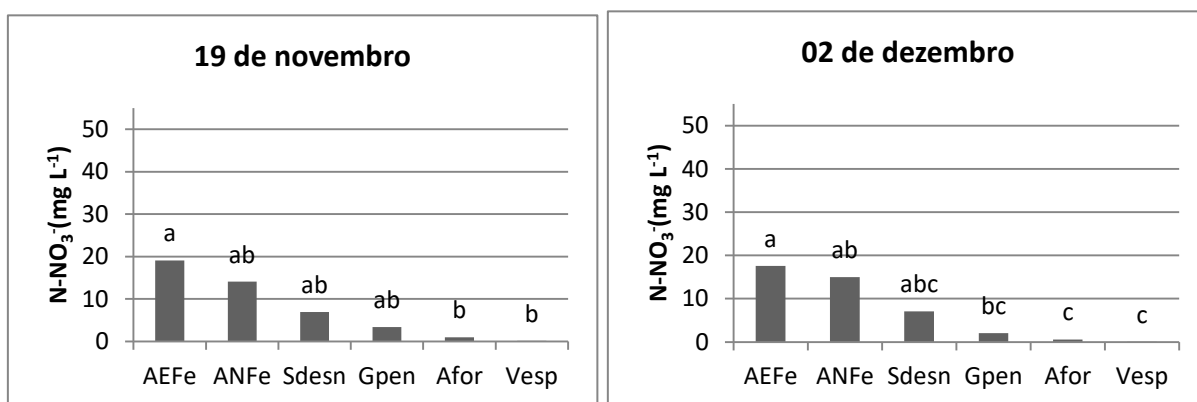


Figura 14: Concentrações de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de novembro e 02 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Na ultima coleta realizada, no dia 20 de dezembro, ocorreu uma redução nas concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> encontradas a 50 cm de profundidade (Figura 15). Este fato pode ser considerado bom, pois quando o nitrato é lixiviado abaixo da zona radicular, pode passar de nutriente a poluente e tornar-se uma fonte difusa de contaminação da água subterrânea. Nesta época o calor foi intenso, aumentando as atividades metabólicas e acelerando o processo de decomposição, devido a isso o tratamento Sdes teve valores altos, por se tratar do que possui menor proteção vegetal e ser o mais exposto às intempéries climáticas.

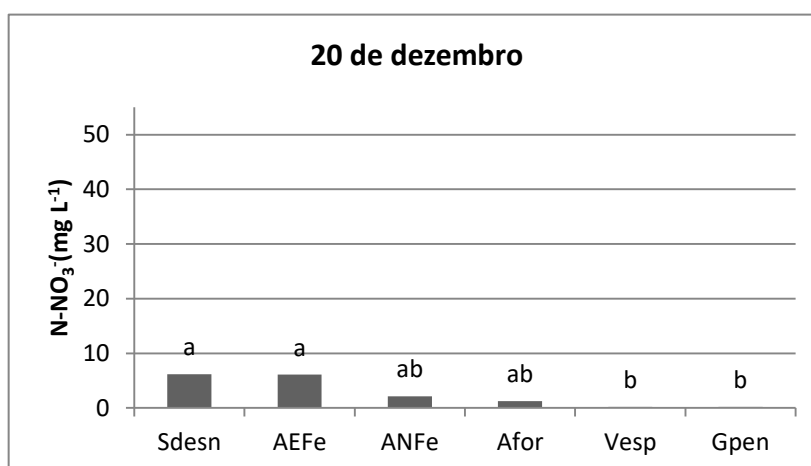


Figura 15: Concentração de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade no dia 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp-

vegetação espontânea; Sdesn- solo desnudo; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

No decorrer do estudo ocorreram variações na concentração de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade, para cada tratamento e época analisada (Figura 16). Na época de inverno os tratamentos com AFor e VEsp foram apresentaram teores elevados de perdas, devido suas características de serem perenes e sofrem apenas com perdas de folhas no período de geadas. Esta característica faz com que o material orgânico depositado no solo seja decomposto e disponibilizado no solo, porem não é absorvido em sua totalidade pois a vegetação está em fase de senescência.

Logo após, ao final do inverno e começo da primavera, as plantas iniciam seu crescimento e utilizam os nutrientes disponíveis no solo, com pequena concentração de nitrato na solução do solo. Nesta fase, todos os tratamentos se igualam, apresentando pequeno potencial de perdas de  $\text{NO}_3^-$ . No fim da primavera, devido ao aquecimento do solo e ao final do ciclo de algumas plantas de cobertura, como os consórcios de AEFfe e ANFe, com conseqüente maior aporte de resíduos no solo, os teores observados nestes tratamentos foram mais elevados.

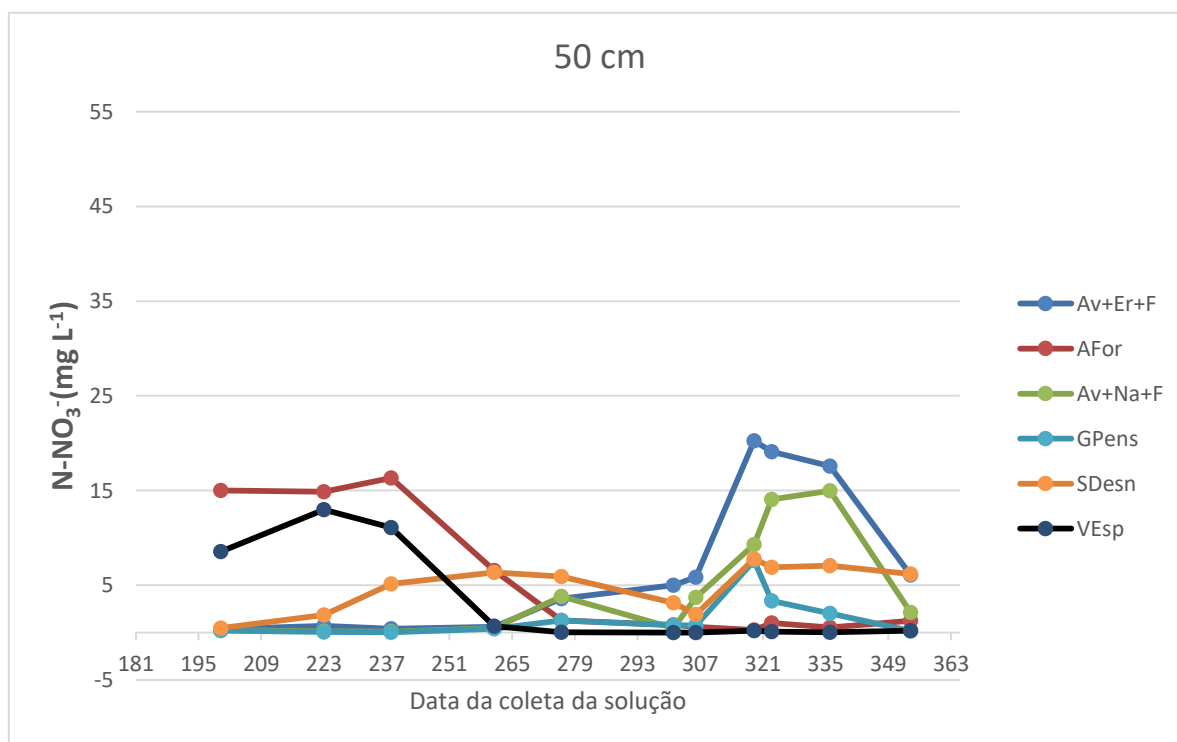


Figura 16: Concentração de nitrato na solução do solo a 50 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; SDes- solo descoberto;

Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.

As concentrações encontradas neste estudo são altas quando comparadas com Steinheimer et al. (1998), que encontraram concentrações de 1 a 2 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo em campo nativo e mata. Em condições de floresta natural, trabalhos demonstram que os teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo costumam estar abaixo de 1 mg L<sup>-1</sup> (Williams, 1999). Visto isso, pode-se notar que os valores obtidos estão acima dos comumente verificados em manejos com poucas intervenções. Estudos demonstram que locais com concentrações médias de 11,5 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo, ocorre contaminação do lençol freático (Williams, 1999), com isso constata-se que muito nitrato está sendo perdido, possuindo potencial para alcançar e poluir o lençol freático.

A diferença observada entre a concentração de nitrato entre uma coleta e outra pode ser atribuída à variação no teor de água no solo entre os pontos, pois após ser extraída a solução na volta da cápsula forma-se um gradiente de potencial, fazendo com que a solução de pontos mais distantes migre para essa região, visando equilibrar o potencial no solo (Grossmann & Udluft, 1991).

Ao longo de todo o período de avaliação as concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram maiores que as de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução do solo em todos os tratamentos. As concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução do solo foram baixas durante todo o período de estudo, comparativamente às concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, mas se observou um pico da concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução no tratamento com AFor a 50 cm de profundidade, onde o teor observado foi de 3,89 mg L<sup>-1</sup>.

Durante todo o período do estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os teores de amônio verificados na solução do solo, tanto a 15 cm, quanto a 50 cm de profundidade. O que pode ser notado foi uma tendência, de alguns tratamentos que se destacarem perante os demais. A Gpens, por exemplo, demonstrou resultados elevados a 15 cm de profundidade na fase inicial do estudo (Figura 17).

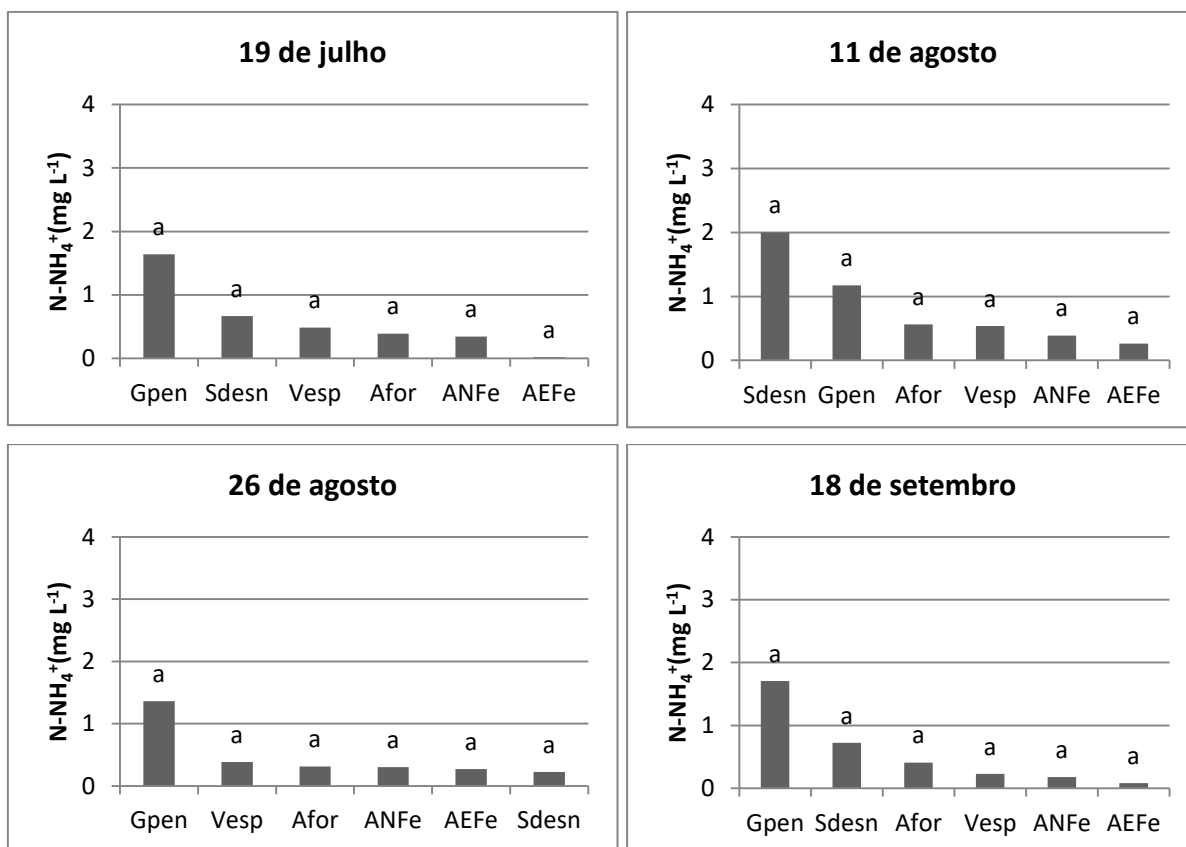


Figura 17: Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 1 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpens - Grama pensacola.

Entre 03 de outubro e 15 de novembro os níveis de amônio foram bastante baixos e se mantiveram inferiores a 1 mg L<sup>-1</sup>, este fato pode estar associado ao período de crescimento das culturas com maior absorção de nutrientes. Além disso, nesta fase ocorreram poucas chuvas, que impossibilitou a coleta de solução no dia 02 de novembro em alguns tratamentos (Figura 18). Nota-se que as áreas com Sdes, Vesp e Gpens não apresentaram solução disponível para coleta, possivelmente por serem tratamentos com pouca vegetação em que existe pouca proteção do solo e dificuldade de manutenção da umidade do mesmo.

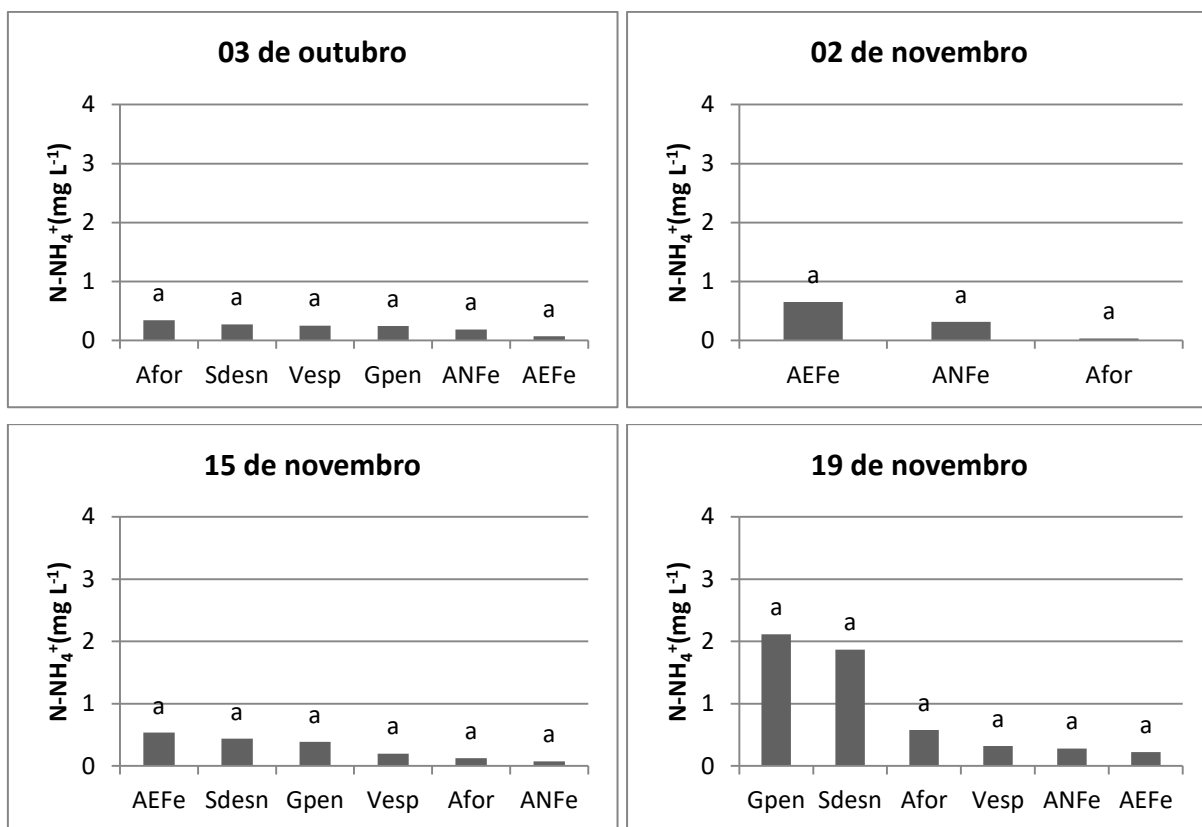


Figura 18: Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 02 de novembro, 15 de novembro e 19 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

A baixa concentração de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo, em todos os tratamentos, se deve a rápida nitrificação do  $\text{NH}_4^+$ , devido às condições adequadas de umidade do solo, pH da solução do solo (LOURENZI et al., 2011; WANG et al., 2017). É provável que as condições iniciais, predominantemente aeróbicas no solo, não tenham proporcionado perdas significativas de nitrato por desnitrificação e nem a transformação do  $\text{NO}_3^-$  em  $\text{NH}_4^+$  por redução dissimilatória, já que este processo somente ocorre em ambientes altamente reduzidos (ZHANG et al., 2015). Outro fator que pode ter contribuído com isso é a sucessão de cultivos de plantas na área do estudo, que também devem ter estimulado o crescimento de populações microbianas, causando assim a rápida nitrificação das formas amoniacais (MBUTHIA et al., 2015).

No dia 02 de dezembro, o Sdes apresentou uma concentração de amônio superior aos demais tratamentos estudados, que mesmo sem se diferenciar estatisticamente, demonstra um comportamento distinto (Figura 19). Isto pode estar

relacionado ao fato de se tratar do tratamento com menor proteção vegetal, que está mais susceptível as dinâmicas climáticas, como a maior aquecimento do solo com consequente mineralização da matéria orgânica existente do solo.

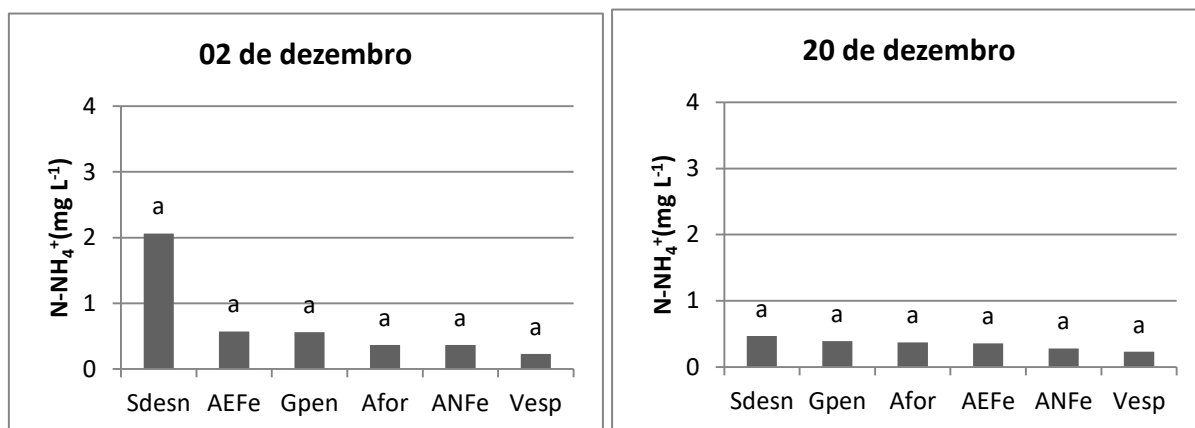


Figura 19: Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos dias 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Em uma avaliação temporal, pode-se observar que os tratamentos SDes e GPens obtiveram valores superiores aos demais, demonstrando tendência de diferenciação (Figura 20). Este comportamento pode estar atrelado ao fato de se tratarem de manejos que possuem pouca presença de vegetação, tornando-os mais associados a variáveis climáticas. Além disso, a baixa demanda por nutrientes resulta em uma maior disponibilidade de nutricional no solo. Os demais tipos de manejo demonstraram uma concentração baixa de amônio na solução coletada durante todo período de avaliação, possuindo valores abaixo do 0,5 mg L<sup>-1</sup> durante a maioria das observações.



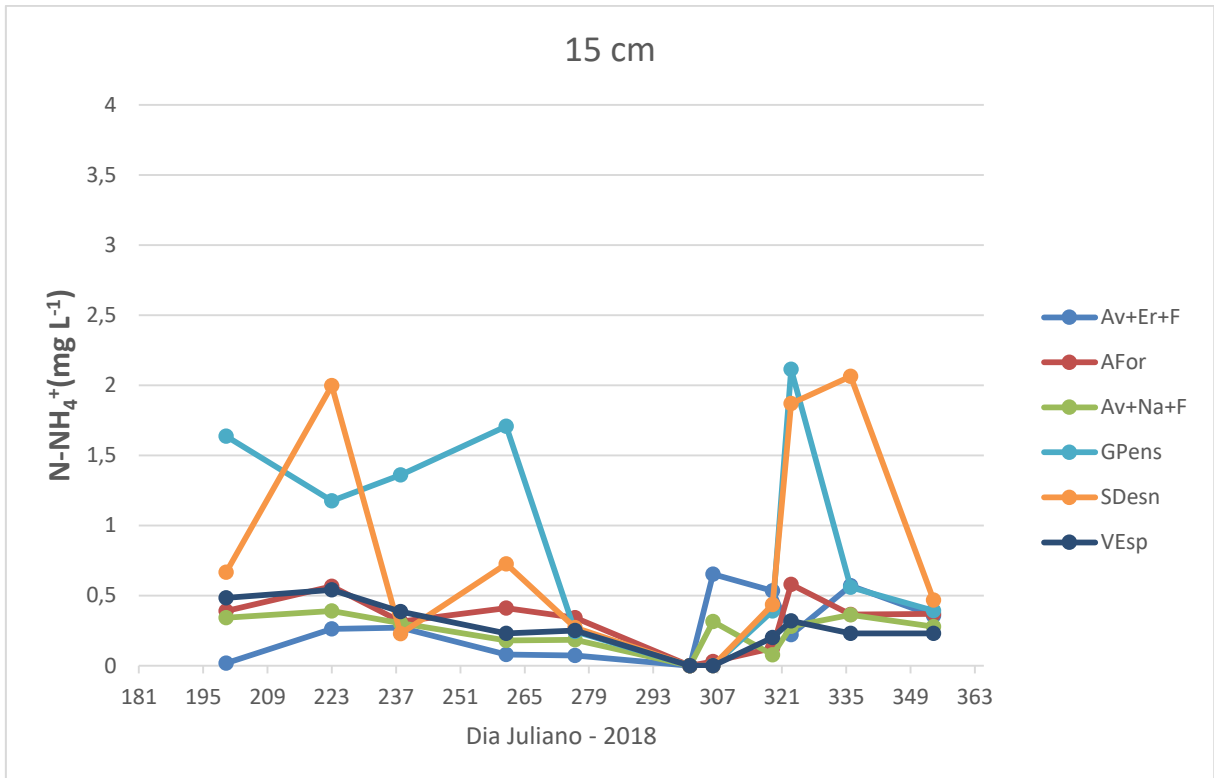
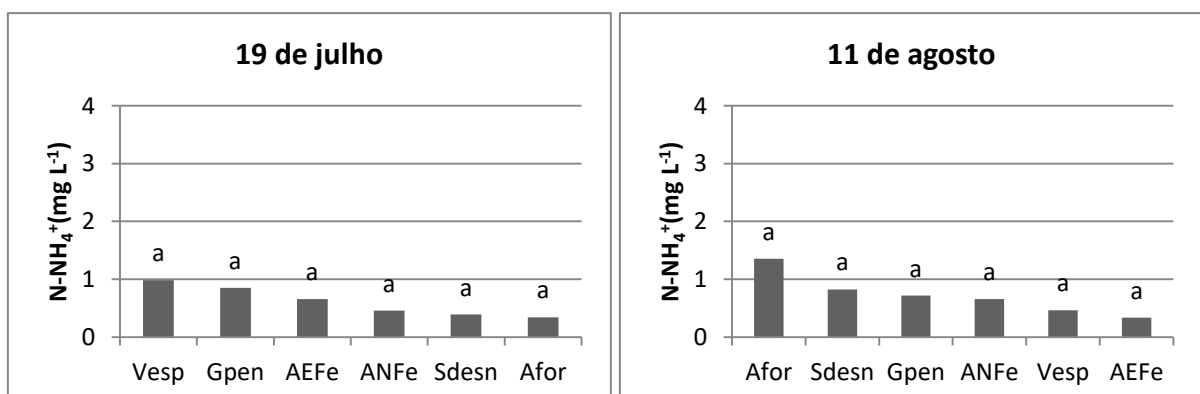


Figura 20: Concentração de amônio na solução do solo a 15 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; SDes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.

Em maiores profundidades (50 cm) o amônio demonstrou comportamento semelhante ao obtido na avaliação superficial (15 cm), apresentando baixas concentrações sem diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 21). Durante a fase inicial os teores de amônio verificados na solução, ficaram ao redor de 1 mg L<sup>-1</sup> em todos os tratamentos estudados, sem diferenciação estatística entre eles.



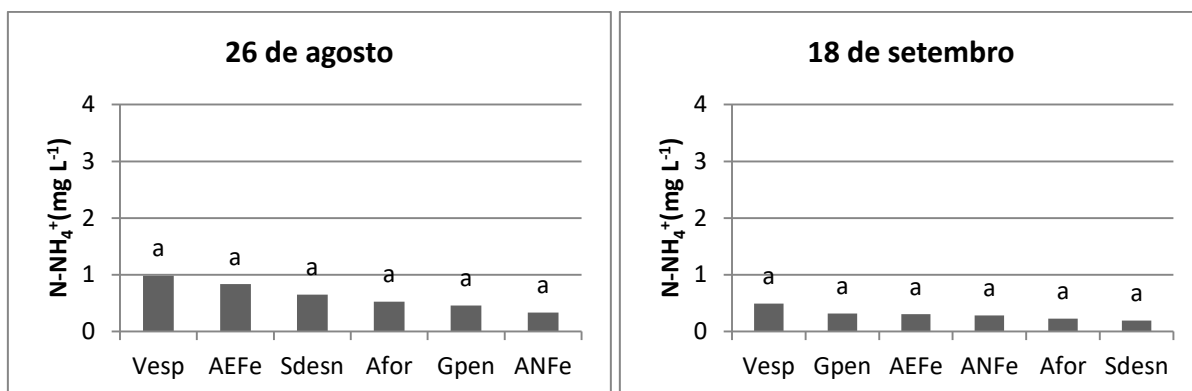
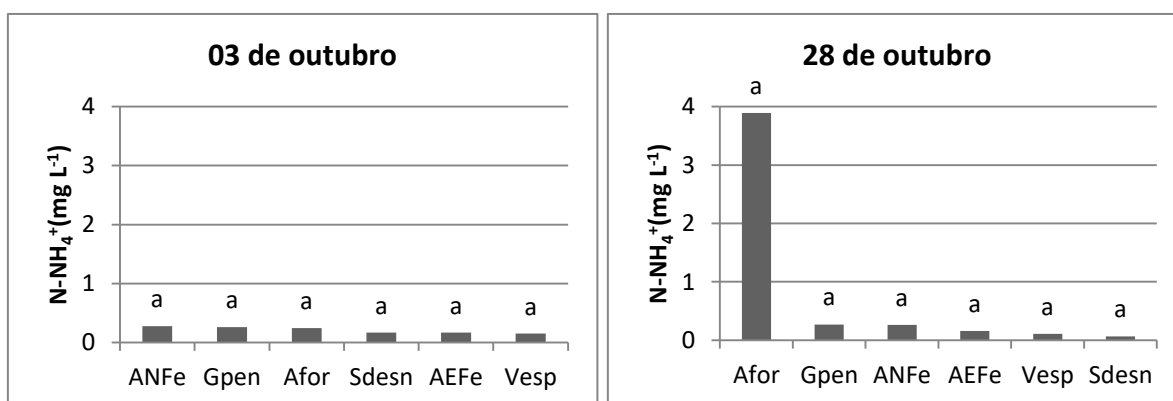


Figura 21: Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de julho, 11 de agosto, 26 de agosto e 18 de setembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Mesmo tendo sido observado que as concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução do solo foram baixas ao longo de todo o estudo, o valor observado mais elevado foi de 3,89 mg L<sup>-1</sup> no tratamento com AFor no dia 28 de outubro (Figura 22). Esta forma de manejo também demonstrou um valor alto no dia 02 de novembro, com média de 2,26 mg L<sup>-1</sup>. Mesmo sem diferença significativa dos demais tratamentos, o amendoim forrageiro demonstrou possuir valor elevados de amônio na solução do solo do meio para o final da primavera.



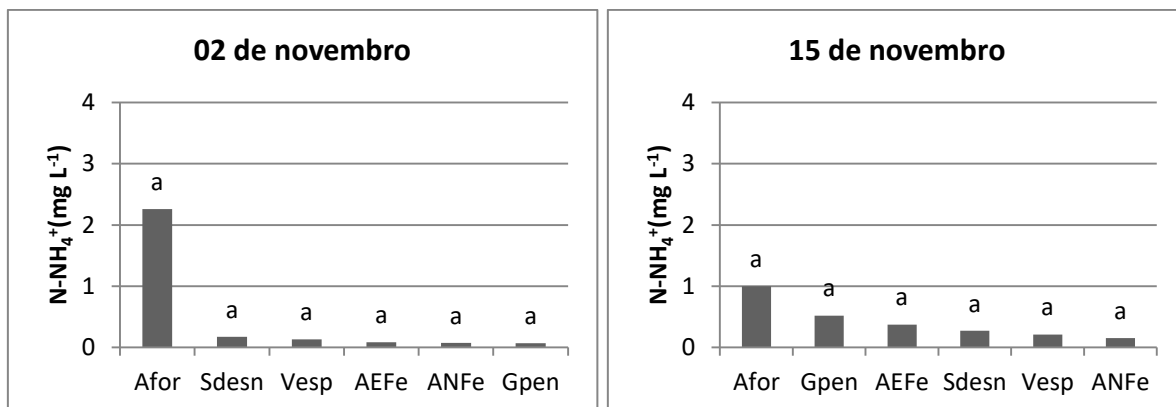
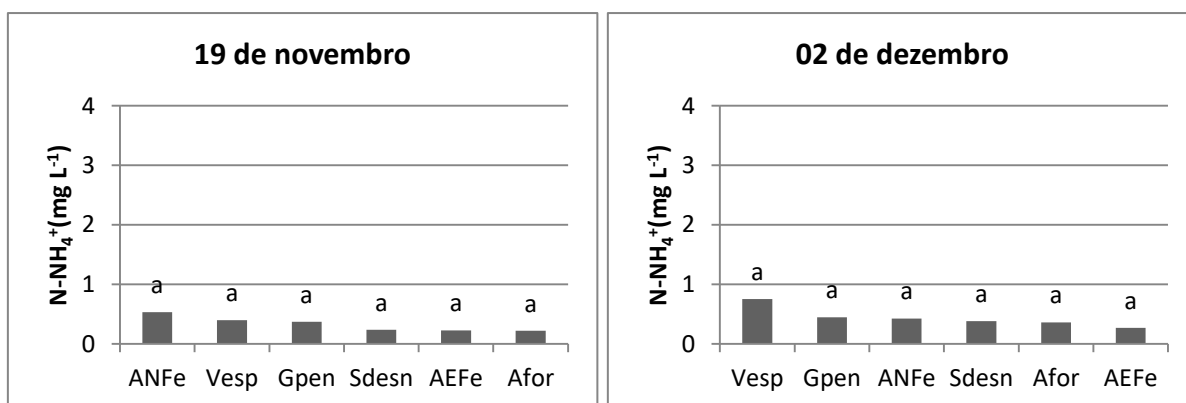


Figura 22: Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 03 de outubro, 28 de outubro, 02 de novembro e 15 de novembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Ao final do período de coletas, todos os tratamentos possuíam valores baixos e semelhantes de concentrações de amônio na solução do solo (Figura 23). Nenhum tipo de manejo apresentou concentração maior ou igual a 1mg L<sup>-1</sup> de amônio perdido neste período, permanecendo todos com pequenos teores.



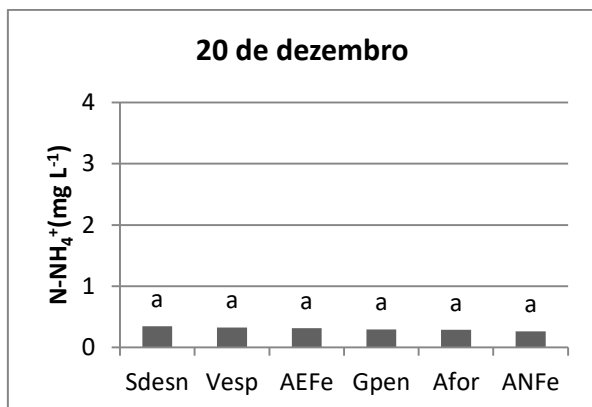


Figura 23: Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos dias 19 de novembro, 02 de dezembro e 20 de dezembro. Letras diferentes representam diferença significativa. Afor-amendoim forrageiro; Vesp- vegetação espontânea; Sdes- solo descoberto; AEFfe- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; ANFe- Aveia + nabo / Feijão caupi; Gpen - Grama pensacola.

Na avaliação temporal feita com as concentrações analisadas de amônio a 50 cm de profundidade, pode-se perceber que na maioria dos tratamentos os valores encontrados ficaram abaixo dos 1mg L<sup>-1</sup> (Figura 24). Porém, apresentando um comportamento diferenciado dos demais, tem-se o Afor, que alcançou teores aproximados a 4mg L<sup>-1</sup>. Esse desempenho ocorreu em dois momentos, 28 do outubro e 02 de novembro, tendo provável relação com a dificuldade da espécie em alcançar nutrientes a tal profundidade com seu sistema radicular. Sendo assim, o amônio foi carregado pela chuva, levado para profundidades mais elevadas.

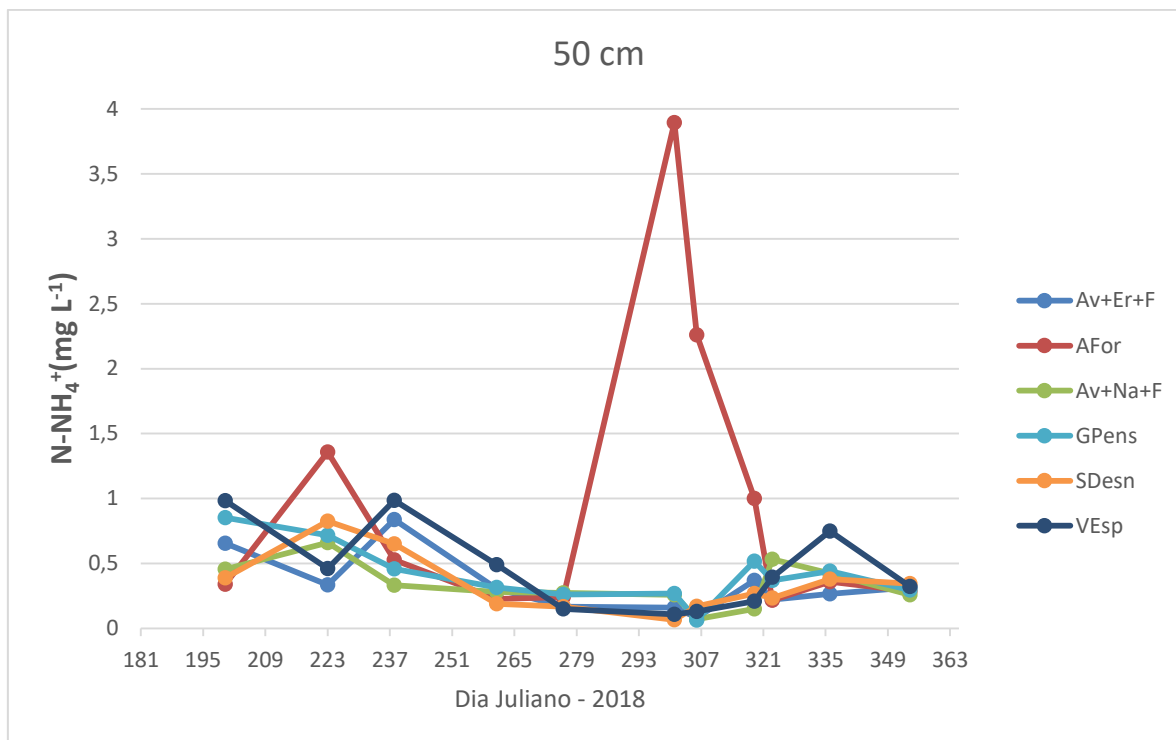


Figura 24: Concentração de amônio na solução do solo a 50 cm de profundidade nos diferentes tratamentos. Afor-amendoim forrageiro; VEsp- vegetação espontânea; SDes- solo descoberto; Av+Er+F- Aveia+ ervilhaca / Feijão caupi; Av+Na+F- Aveia + nabo / Feijão caupi; GPens - Grama pensacola.

Os lisímetros de cápsulas porosas são bastante utilizados e seu uso tem sido considerado uma metodologia eficiente para coletar e avaliar a concentração de solutos no perfil do solo (Poss et al., 1995; Hendershot & Courchesne, 1991; Webster et al., 1993). Com essa metodologia é possível coletar a solução do solo em condições de umidade abaixo da capacidade de campo, e o pequeno diâmetro dos poros da cápsula impede a entrada de partículas grosseiras no meio (Hendershot & Courchesne, 1991). No entanto, trabalhos têm apontado que os resultados podem ser subestimados, pois em condições de alta umidade do solo é coletada apenas a solução contida em poros maiores (Grossman & Udluft, 1991).

No presente estudo, a solução do solo coletada pelos lisímetros representa a fração retida pelo solo após as chuvas, pois a aplicação de tensão só era possível após a chuva cessar e em condições de alta umidade do solo. Assim como neste trabalho, Reichardt et al. (1979) também encontraram dificuldade para coletar a solução em solo arenoso (68% de areia) em condições de baixa umidade.

## **7 CONCLUSÕES**

O comportamento temporal do nitrato na solução do solo foi semelhante nas duas profundidades estudadas, 15 cm e 50 cm. O amendoim forrageiro e a vegetação espontânea tiveram maiores concentrações iniciais. Os consórcios de aveia mais ervilhaca mais feijão miúdo e aveia mais nabo forrageiro mais feijão miúdo apresentaram elevadas concentrações ao final do estudo.

A concentração de nitrato na solução do solo foi mais elevada à 15 cm, na zona de raízes do solo. As concentrações de amônio detectadas são pequenas e não apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas de plantas de cobertura do solo.

Os manejos e tipos de plantas de cobertura, associados ao período da primavera, sem adição de fertilizantes apresentaram concentrações significativas de nitrogênio disponível no solo e potencialmente lixiviáveis em períodos de pouca absorção pelas plantas.

A utilização de diferentes proporções nos consórcios de aveia mais ervilhaca mais feijão miúdo e aveia mais nabo forrageiro mais feijão miúdo devem ser testadas e estudadas para possibilitar a melhoria do sistema.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p. 519-531. 2004.

ALCÂNTARA, M.A.K.; CAMARGO, O.A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 369- 376, 2005.

BISWAS, D. K.; MA, B. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology , yield , grain quality , and nitrogen use efficiency in corn. [s. l.], v. 403, n. October 2015, p. 392– 403, 2016.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. **Soil and Water Management and Conservation**. v. 75, n.4. p. 1471- 482. 2011.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover crops and ecosystem services: insights from studies in Temperate soils. **Agronomy Journal**. v. 107, n. 6. p. 2449-2474. 2015.

CABRERA CORRAL, F. J. et al. Lysimetry methods for monitoring soil solution electrical conductivity and nutrient concentration in greenhouse tomato crops. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 171–179, 2016.

CAMPBELL, D. J.; KINNIBURGH, D. G.; BECKETT, P. H. T. The soil solution chemistry of some Oxfordshire soils: temporal and spatial variability. **Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 321–339, 1989.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and soil**. v. 331, n. 1, p. 31-43. 2010.

CHEN, G.; WEIL, R.R.; HILL,R.L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**. v. 136, p.61-69. 2014.

COSTA, J.L. et al. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. **Agricultural Water Management**, v.57, p. 33-47, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**, 3º ed. Brasília. 2013.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. [s.l.] : CRC Press, 2011

FLORENTÍN, M.A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI,A.; DERPSCH,R. **Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms**. Rome: FAO, p. 97, 2011.

GOSS, M.J; BEAUCHAMP, E.G; MILLER, M.H. Can a farming systems approach help minimize nitrogen losses to the environment? **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 20, p 285-297, 1995.

GRIGNANI, C.; ZAVATTARO,L. A survey on actual agricultural practices and their effects on the mineral nitrogen concentration of the soil solution. **European Journal of Agronomy**, v.12 .p.251–268, 2000.

GROSSMANN, J.; UDLUFT, P. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. **Journal of Soil Science**, v. 42, p. 83-93, 1991.

HALVORSON, J. J. et al. Reduction of soluble nitrogen and mobilization of plant nutrients in soils from U.S northern Great Plains agroecosystems by phenolic compounds. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 94, n. December, p. 211–221, 2016.

HARUNA, S. I.; NKONGOLO, N. V. Effects of tillage, rotation and cover crop on the physical properties of a silt-loam soil. **International Agrophysics**, v. 29, n. 2, p. 137-145. 2015.

HENDERSHOT, W.H.; COURCHESNE, F. Comparison of soil solution chemistry in zero tension and ceramic-cup tension lysimeters. **Journal of Soil Science**, v. 42, p. 577-583, 1991.

HILLEL, D. **Environmental soil Physics**. Academic Press. p. 771, 1998.



HORN, R. Direction-dependent behaviour of hydraulic and mechanical properties in structured soils under conventional and conservation tillage. **Soil and Tillage Research**. v.102. p.225-232. 2009.

HUBBARD, R. K.; STRICKLAND, T. C.; PHATAK, S. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of Southeastern USA. **Soil and Tillage Research**. v. 126, p. 276-283. 2013.

JÄMTGÅRD, S.; NÄSHOLM, T.; HUSS-DANEL, K. Nitrogen compounds in soil solutions of agricultural land. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2325–2330, 2010.

KAISER, D.R. Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)** - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, p. 150, 2010.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 70, n. 6, p. 329-339. 2015.

LEIMER, S; OELMANN, Y; WIRTH, C; WILCKE, W. Time matters for plant diversity effects on nitrate leaching from grassland. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.211, p. 155-163, 2015.

LIER, Q.J.V. Índices da disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa. v.1, p. 96-105, 1999.

LOURENZI, C. R. et al. SOIL CHEMICAL PROPERTIES RELATED TO ACIDITY UNDER SUCCESSIVE PIG SLURRY APPLICATIONS (1) Long-term applications induced an increase in organic matter in the deeper layers. **Cledimar Rogério Lourenzi et al. R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, n. 2, p. 1827–1836, 2011.

MBUTHIA, L. W. et al. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 24–34, 2015.

MEURER, J. E. **Fundamentos de Química do Solo**. 6a ed. Porto Alegre, RS-Brasil.

MIRANDA, J. et al. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 633–647, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Cap. 7. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. Lavras: UFLA, 625p 2002.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Boletim geográfico do Estado do Rio Grande do Sul. n. 11, p. 118, 1961.

MUBIRU, D. N.; COYNE, M. S. Legume cover crops are more beneficial than natural fallows in minimally tilled Ugandan soils. **Agronomy Journal**. v. 101, n. 3, p. 644-652. 2009.

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Short-term effects of cover cropping on the quality of a typic argiaquolls in central Ohio. **Catena**. v. 131, p. 125-129, 2015.

OSTERHOLZ, W. R. et al. Can mineralization of soil organic nitrogen meet maize nitrogen demand ? v. 1, p. 73–84, 2017.

PLAZA-BONILLA, D., NOLOT, J. M., RAFFAILLAC, D., JUSTES, E. Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: Field evidence and model simulations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 212, p 1-12, 2015.

POSS, R. et al. Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field. **European Journal of Soil Science**, v. 46, p. 667-674, 1995.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. **CERES, Potafos**, p. 434, 1991.

RANDALL, G.W. et al. Nitrate losses through subsurface tile drainage in CPR alfalfa, and row crop systems. **Journal of Environmental Quality**, v.26, p. 1240-1247, 1997.

RANDALL, G.W.; MULLA, D.J. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. **Journal of Environmental Quality**, v.30, p.337-344, 2001.

RAO, E.V.S.P.; PUTTANNA, K. Nitrates, agriculture and environment. **Current Science**, v. 79, n. 9, p. 1163 - 1168, 2000.

REICHARDT, K. et al. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p. 17-20, 1979.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Caracterização química dos solos. In: RHEINHEIMER, D.S. (editor). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS**. Santa Maria, RS. Relatório Técnico. Ano II. p. 7-18, 2003

SARTORI, M. G. B. **O clima de Santa Maria: do regional ao urbano**. 1979. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SOUZA, E. R. De et al. Comparação de métodos de extração da solução do solo Comparison of methods for extracting soil solution. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 510–517, 2013.

STEELE, M.K.; COALE, F.J.; HILL, R.L. Winter annual cover crop impacts on no-till soil physical properties and organic matter. **Soil Science Society American Journal**. v. 76. p. 2164-2173. 2012.

STEINHEIMER, T.R.; SCOGGIN, K.D.; KRAMER, L.A. Agricultural chemical movement through a field-size watershed in Iowa: subsurface hydrology and distribution of nitrate in groundwater. **Environmental Science Technology**, v. 32, p.1039-1047, 1998.

STEVENSON, F. J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. **New York: J. Wiley**, 380 p, 1986.

TORMENA, C.A. et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31. p. 211-219. 2007.

WANG, J. et al. Effects of 14 years of repeated pig manure application on gross nitrogen transformation in an upland red soil in China. **Plant and Soil**, v. 415, n. 1–2, p. 161–173, 2017.

WEBSTER, C.P. et al. Comparisons of methods for measuring the leaching of mineral nitrogen from arable land. **Journal of Soil Science**. v.44, p. 49-62, 1993.

WEED D.A.J.; KANWAR, R.S. Nitrate and water present in and flowing from rootzone soil. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p. 709-719, 1996.

WEIHERMÜLLER, L. et al. In Situ Soil Water Extraction: A Review. **Journal of Environment Quality**, v. 36, n. 6, p. 1735, 2007.

WILLIAMS, T.M. Nitrate leaching from intensive fiber production on abandoned agricultural land. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 41-49, 1999.

WYLAND, L. J., L. E. JACKSON, W. E. CHANEY, K. KLONSKY, S. KOIKE, AND B. KIMPLE. 1996. Winter cover crops in a vegetable cropping system: impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, and pests and management costs. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.59, p. 1-17, 1996.

ZHANG, J. et al. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA) plays an important role in soil nitrogen conservation in neutral and alkaline but not acidic rice soil. **Journal of Soils and Sediments**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 523–531, 2015.