

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

**TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM PONTOS DE
DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SOLOS DE TEXTURA
ARGILOSA E ARENOSA**

TESE

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

**TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM PONTOS DE
DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SOLOS DE TEXTURA
ARGILOSA E ARENOSA**

TESE

PATO BRANCO

2021

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

**TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM PONTOS DE
DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SOLOS DE TEXTURA ARGILOSA E
ARENOSA**

**Nitrogen, phosphorus and potassium contents at bovine urine
deposition points in clayey and sandy soils.**

Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Doutora em Agronomia –
Área de Concentração: Solos e Sistemas
Integrados de Produção Agropecuária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientadora: Tangriani Simioni Assmann

Coorientadora: Laíse da Silveira Pontes

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco**



ROSANGELA CORREA DE LIMA

TEORES DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM PONTOS DE DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SOLOS DE TEXTURA ARGILOSA E ARENOSA

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutora Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Produção Vegetal.

Data de aprovação: 22 de Setembro de 2021

Prof.a Tangriani Simioni Assmann, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Alceu Luiz Assmann, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Iapar-Emater)

Prof Edicarlos Damacena De Souza, Doutorado - Universidade Federal de Rondonópolis (Ufr)

Prof Paulo Fernando Adami, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Sebastiao Brasil Campos Lustosa, Doutorado - Universidade Estadual do Centro Oeste (Unicentro)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 23/09/2021.

Dedico este trabalho ao meu esposo, Eider Balena, que nunca mediu esforços para me ajudar e apoiar durante toda minha caminhada. Ao meu pequeno Ravi Lucca, que me deu inspiração para finalizar este trabalho. E por fim, ao nosso anjinho que nos deixou tão precocemente, mas que estará conosco para todo o sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, e por me guiar e abençoar em cada passo.

A minha querida mãe (e pai) Angenita, “meu alicerce”, pelo incentivo, amor e carinho no decorrer desses anos, e principalmente por estar ao meu lado em cada dificuldade enfrentada, que por sinal, foram muitas. Gratidão para todo o sempre.

Ao meu esposo Eider Balena, pelo carinho, apoio e compreensão durante essa minha caminhada. E pela ajuda de sempre em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho. Sem você não seria possível chegar até aqui.

A toda minha família pelo apoio e incentivo.

Agradeço infinitamente ao grupo de iniciação científica GISPA – Grupo de Interação Solo Planta Animal, que colaboraram em todas as etapas (campo e laboratório) e foram peças fundamentais para a realização deste trabalho.

A minha orientadora Prof^{fa}. Dr^a. Tangriani Simioni Assmann. Agradeço imensamente pelo apoio, compreensão e pelos ensinamentos compartilhados durante esta trajetória.

Agradeço também a minha coorientadora Dr^a. Laíse da Silveira Pontes, pela ajuda na execução deste trabalho, disponibilidade de espaço e estrutura. Agradeço também a toda a equipe do IAPAR - Ponta Grossa, em especial ao técnico em agropecuária, Giliard Stafin.

Em especial a minha amiga de pós-graduação, Luryan Tairini Kagimura e ao meu amigo Pablo Antônio Beltrán Barriga. Vocês foram peças fundamentais neste trabalho, agradeço imensamente, vocês são incríveis. Todo mundo merece ter amigos como vocês. As minhas queridas amigas e colegas, Márcia Mensor e Angélica C. Zatta, por toda ajuda neste trabalho, vocês são incríveis e simplesmente especiais. Amo vocês!

Agradeço ainda os meus estimados colegas, Igor Severo, Wilson Henrique Tatto, Gustavo Ferronato, Leonardo Bomfim Belotto, Juliana Marchetti.

Ao Laboratório de Solos da UTFPR, na pessoa da Andressa Pilonetto, exemplo de pessoa e profissional, meu muito obrigada. Ao laboratório Laqua e Central de Análises, na pessoa da Anaclara (*in memoriam*), que auxiliaram em todas as análises.

A Agropecuária Pacheco, em especial ao proprietário Caetano Pacheco pela disponibilidade de recurso e de área para a execução de parte deste trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram a alcançar mais este objetivo, meu sincero Muito Obrigada!!! **Gratidão a todos!**

As pessoas não carecem de força, carecem de determinação.

Victor Hugo.

RESUMO

LIMA, Rosangela Corrêa de. Teores de nitrogênio, fósforo e potássio em pontos de deposição de urina bovina em solos de textura argilosa e arenosa. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

A urina bovina contém uma grande quantidade de nutrientes em sua composição e, portanto, pode ser uma rota importante para a ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária. Nesse contexto, o trabalho foi desenvolvido em dois protocolos experimentais distintos. O primeiro foi realizado em um latossolo, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação nitrogenada e a pressão de pastejo em pastagem de azevém sobre o comportamento dos nutrientes em sítios de deposição de urina bovina no município de Abelardo Luz – SC. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com três repetições. O primeiro fator foi o tempo de aplicação de nitrogênio (N) no sistema: N aplicado no pasto (N-Fert. Pasto) e essas foram as únicas parcelas a receber nitrogênio em cobertura, na dose de 200 kg de N ha⁻¹ em dose única. Das quais foram comparadas com as parcelas chamadas N-Fert Grãos, que não receberam fertilização nitrogenada na fase de pastejo, e receberam na safra anterior. O segundo fator foi a altura da pastagem, alta altura (AA) e baixa altura (BA), 25 e 10 cm, respectivamente. Para a avaliação do comportamento dos nutrientes no solo (N, P e K), provindos da urina bovina, foram realizadas as coletas em diferentes dias (0 (zero), ou seja, imediatamente após a micção, no terceiro (3^o), sexto (6^o) e décimo segundo (12^o) dia após a micção), em distâncias equidistantes do ponto central da micção 0 cm (ponto central da área úmida), 25, 50 e 75 cm do ponto central da micção, e em diferentes profundidades ao longo do perfil do solo, 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. O segundo experimento teve por objetivo avaliar o comportamento dos nutrientes em pontos de micção bovina, em uma pastagem mista de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa* em função da aplicação de nitrogênio e da presença de árvores em sistemas integrados de produção agropecuária, em solo com textura arenosa, em Ponta Grossa – PR. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial, com três repetições. Dois tratamentos de adubação nitrogenada (90 e 180 kg N ha⁻¹, na forma de ureia, com uma única aplicação durante a fase pastagem) foram alternados com dois sistemas integrados: somente Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). As avaliações foram realizadas da mesma forma que o primeiro experimento. A adubação nitrogenada realizada na pastagem provoca aumento na concentração de nitrogênio (13,8 g L⁻¹) e potássio (26,2 g L⁻¹) excretado via urina. Áreas de pastagens conduzidas com maior pressão de pastejo (baixa altura-10cm), apresentam menores teores de N e P, e maior teor de potássio no solo em pontos de micção de urina. Teores mais elevados de nitrogênio, fósforo e potássio foram observados nos pontos de urina no sistema arborizado, uma vez que nestes sistemas a absorção de nutrientes pelas plantas forrageiras foi reduzida devido ao sombreamento das mesmas, levando a uma redução de produção de matéria seca da pastagem. Ainda, para o fósforo a menor dose de nitrogênio ocasionou maior concentração de fósforo no solo, devido a menor extração pelas plantas pela menor disponibilidade de nitrogênio. Os maiores teores de nitrogênio e potássio no solo são observados no ponto onde ocorreu a micção de urina (ponto central), sendo que a área de atuação/difusão do N-urinário não ultrapassa os 25 cm do ponto central de micção, e a atuação do potássio permanece no ponto central, não havendo difusão lateral até a 25 cm. Devida a baixa contribuição de fósforo na urina animal, não ocorre alterações nos teores no solo, nem mesmo no ponto central. O amônio é convertido a nitrato até o sexto dia após a micção, o potássio e o fósforo apresentam valores elevados logo após a

micção e parece receber influencia de fatores ambientais (precipitação), na sua disponibilidade no decorrer do tempo. As maiores concentrações de amônio, nitrato, fósforo e potássio foram observadas nas camadas superficiais do solo (0-10 cm). Embora, neste estudo não tenha sido observada lixiviação de nitrato, amônio e potássio nos pontos de urina amostrados, em nenhum dos solos estudados, até uma profundidade de 40 cm, alerta-se que a adoção de sistemas de produção mais intensificados (com a inclusão de animais em pastejo e o aumento de adubações nitrogenadas) devem ser conduzidos em condições que propiciem elevadas extrações de nutrientes do solo pelas plantas, visando a redução do risco de perdas.

Palavras-chave: Integração Lavoura-Pecuária, Lavoura-Pecuária-Floresta. Adubação nitrogenada. Manejo da pastagem. Ciclagem de Nutrientes. Lixiviação.

ABSTRACT

LIMA, Rosangela Corrêa de. Nitrogen, phosphorus and potassium contents at bovine urine deposition points in clayey and sandy soils. 112 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

Bovine urine contains a large amount of nutrients in its composition and, therefore, can be an important route for nutrient cycling in integrated agricultural production systems. In this context, the work was developed in two different experimental protocols. The first was carried out in an oxisol, with the objective of evaluating the effect of nitrogen fertilization and grazing pressure in ryegrass pasture on the behavior of nutrients in bovine urine deposition sites in the city of Abelardo Luz - SC. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme, with three replications. The first factor was the time of application of nitrogen (N) in the system: N applied on pasture (N-Fert. Pasture) and these were the only plots to receive nitrogen topdressing at a dose of 200 kg of N ha⁻¹ in Single dose. These were compared with plots called N-Fert Grains, which did not receive nitrogen fertilization in the grazing stage, and received it in the previous season. The second factor was pasture height, high height (AA) and low height (BA), 25 and 10 cm, respectively. To evaluate the behavior of nutrients in the soil (N, P and K) from bovine urine, collections were carried out on different days (0 (zero), that is, immediately after urination, on the third (3rd), sixth (6th) and twelfth (12th) day after urination), at equidistant distances from the central point of urination 0 cm (midpoint of the wet area), 25, 50 and 75 cm from the central point of urination, and at different depths to the along the soil profile, 0-5; 5-10; 10-20 and 20-40 cm. The second experiment aimed to evaluate the behavior of nutrients at bovine urination points in a mixed pasture of *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa* as a function of nitrogen application and the presence of trees in integrated agricultural production systems, in a soil with a sandy texture, in Ponta Grossa – PR. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme, with three replications. Two nitrogen fertilization treatments (90 and 180 kg N ha⁻¹, in the form of urea, with a single application during the pasture phase) were alternated with two integrated systems: only Crop-Livestock (ILP) and Crop-Livestock-Forest (ILPF). The evaluations were carried out in the same way as the first experiment. Nitrogen fertilization performed on the pasture causes an increase in the concentration of nitrogen (13.8 g L⁻¹) and potassium (26.2 g L⁻¹) excreted via urine. Pasture areas managed with higher grazing pressure (low height-10cm), have lower N and P contents, and higher potassium content in the soil at urine urination points. Higher levels of nitrogen, phosphorus and potassium were observed in the urine points in the wooded system, since in these systems the nutrient uptake by forage plants was reduced due to their shading, leading to a reduction in pasture dry matter production. Still, for phosphorus, the lowest dose of nitrogen caused a higher concentration of phosphorus in the soil, due to lower extraction by plants due to the lower availability of nitrogen. The highest levels of nitrogen and potassium in the soil are observed at the point where urine urination occurred (central point), and the area of, action/diffusion of urinary N does not exceed 25 cm from the central point of urination, and the action of potassium remains at the central point, with no lateral diffusion up to 25 cm. Due to the low contribution of phosphorus in animal urine, there is no change in the levels in the soil, not even in the central point. Ammonium is converted to nitrate up to the sixth day after urination, potassium and phosphorus present high values soon after urination and seems to be influenced by environmental factors (precipitation), in their availability over time. The highest concentrations of ammonium, nitrate, phosphorus and potassium were observed in the superficial layers of the soil (0-10 cm). And although, in this study,

nitrate, ammonium and potassium leaching was not observed in the sampled urine points, in none of the studied soils, up to a depth of 40 cm, it is warned that the adoption of more intensified production systems (with the inclusion of animals in pasture and increased nitrogen fertilization) should be conducted under conditions that provide high extraction of nutrients from the soil by plants, aiming to reduce the risk of losses.

Keywords: Crop-Livestock, Crop-Livestock-Forest Integration. Nitrogen fertilization. Pasture management. Nutrient cycling. Leaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Dados meteorológicos durante o período de desenvolvimento da pastagem (A), e dados meteorológicos durante o período de coleta de solo nos pontos de micção (B). Abelardo Luz – SC, Brasil. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....41
- Figura 2 - Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2021. 42
- Figura 3 - Concentração de amônio ($N-NH_4^+$ mg kg^{-1} ; $p= 0,0161$) no solo, após a micção de urina, em pastagem de azevém conduzida em alta altura(a) e em baixa altura(b), em função da profundidade de solo e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....46
- Figura 4 - Concentração de amônio ($N-NH_4^+$ mg kg^{-1} ; $p=0,0078$) no solo ao longo do tempo, após a micção de urina de bovinos em pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média $\pm 2,52$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....47
- Figura 5- Concentração de nitrato ($N-NO_3^-$ mg kg^{-1} ; $p= 0,0105$) no solo, em pastagem de azevém conduzida em alta altura(A) e em baixa altura(B), em função dos dias após a micção e distâncias do ponto central de micção, em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....48
- Figura 6- Concentração de nitrato ($N-NO_3^-$ mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) no solo, em diferentes profundidades de solo em sítios de urina de bovinos em pastagem de azevém, em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média $\pm 1,32$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....49
- Figura 7 - Concentração de amônio ($N-NH_4^+$ mg kg^{-1} ; $p=0,0001$) (a) e nitrato ($N-NO_3^-$ mg kg^{-1} ; $p=0,0003$) (b) no solo, após a micção de urina, em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($N-NH_4^+ \pm 1,78$; $N-NO_3^- \pm 0,93$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....49
- Figura 8 - Concentração de N-Mineral (mg kg^{-1} de solo; $p=0,0465$) em pastagem de azevém conduzida em alta altura (A) e em baixa altura (B), em função da aplicação de nitrogênio e dias após a micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....50
- Figura 9- Concentrações de N-Mineral (mg kg^{-1} de solo; $p=0,0019$) em pastagem de azevém conduzida em alta altura (A) e em baixa altura (B), em função da profundidade de solo e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....51
- Figura 10- Concentração de Fósforo (mg dm^{-3}) em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Diferença estatística apenas para N-Fert. Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média (manejo da altura de Pasto ($p=0,0000$) $\pm 0,537$; Dias após Micção ($p=0,0071$) $\pm 0,759$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....56

- Figura 11- Concentração de Fósforo (mg dm^{-3}) no solo em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura - Pecuária. Diferença estatística apenas para N-Fert. Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos ($p= 0,0000$) $\pm 0,543$; N-Fert. Pastagem ($p=0,0067$) $\pm 0,806$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....59
- Figura 12- Concentração de Potássio (mg dm^{-3}) no solo em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos ($p=0,0405$) $\pm 27,92$; N-Fert. Pastagem ($p=0,0213$) $\pm 22,32$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....61
- Figura 13 - Concentração de Potássio (mg dm^{-3}) em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos ($p= 0,0336$) $\pm 35,04$; N-Fert. Pastagem ($p= 0,0000$ (A); $p= 0,0003$ (B)) $\pm 14,09$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....63
- Figura 14- Concentração de Potássio (mg dm^{-3}) no solo em função da Distância do Ponto Central de Micção ($p= 0,0000$). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\pm 9,38$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....65
- Figura 15- Dados meteorológicos durante o período de desenvolvimento da pastagem (A) e dados meteorológicos durante o período de coleta de solo nos pontos de micção de urina (B). Ponta Grossa – PR, Brasil. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....69
- Figura 16 - Croqui da área experimental N- = $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$; N+ = $180 \text{ kg de N ha}^{-1}$; as cores representam os diferentes blocos e os números as unidades experimentais.....72
- Figura 17 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $P = 0,0111$) após a micção, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas Integrados, Lavoura-Pecuária (ILP, A e B) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF, C e D) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente) em função dos dias após a micção e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....77
- Figura 18- Concentração de nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p= 0,0005$) após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP, A e B) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF, C e D) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente) em função de dias após a micção de urina e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....79
- Figura 19 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) de nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) em diferentes profundidades do solo em pontos de micção de urina de bovinos em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-NH_4^+ $\pm 1,74$; N-NO_3^- $\pm 0,53$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.. 82
- Figura 20- Concentração de Fósforo (P (mg dm^{-3}) no solo após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente), dias após a micção e distância do ponto central de micção. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\pm 3,05$ (A); $\pm 3,74$ (B); $\pm 2,16$ (C); $\pm 2,64$ (D)). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....86

Figura 21 - Concentração de Potássio (K (mg dm⁻³) no solo após a micção de urina, em pastagem de Lolium multiflorum + Avena strigosa, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha⁻¹; N90 e N180, respectivamente), em função dos dias após a micção e distância do ponto central de micção. Barras verticais indicam o erro padrão da média, ±22,11 (A); ±24,76 (B); ±25,81 (C); ±31,60 (D). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021. 90

Figura 22 - Concentração de Potássio (mg dm⁻³) no solo após a micção de urina, em pastagem de Lolium multiflorum + Avena strigosa, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha⁻¹; N90 e N180, respectivamente), em função da profundidade de solo. Barras verticais indicam o erro padrão da média, ± 8,20. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de rotação de culturas no experimento de integração Lavoura-Pecuária de longa duração. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....	40
Tabela 2- Concentração de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) contido na urina de bovinos alimentados com Azevém, em função do tempo de adubação nitrogenada. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....	45
Tabela 3 - Concentração de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) contido na urina de bovinos alimentados com <i>Lolium multiflorum</i> + <i>Avena strigosa</i> , em função dos níveis de nitrogênio (90 e 180 kg N ha ⁻¹ ; N90 e N180, respectivamente). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.....	75

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CQFS	Comissão De Química E Fertilidade Do Solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa De Pesquisa Agropecuária E Extensão Rural De Santa Catarina
IAPAR	Instituto Agrônômico Do Paraná
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INMET	Instituto Nacional De Meteorologia
PR	Paraná
SC	Santa Catarina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	Alta Altura
BA	Baixa Altura
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
CTA	Capacidade de troca de ânions
CTC	Capacidade de troca de cátions
cv.	Cultivar
DAM	Dias após Micção
DPC	Distância do ponto centrar micção
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
KCL	Cloreto de Potássio
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
N-Fert. Grãos	Nitrogênio aplicado somente na cultura de grãos
N-Fert. Pastagem	Nitrogênio aplicado somente na pastagem
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio presente no fertilizante comercial
ns	Não significativo
SB	Soma de Bases

LISTA DE SÍMBOLOS

'	Minutos
°	Segundos
°'	Percentual
%	Porcentagem de nitrogênio
% de N	Nitrogênio na forma de nitrato
N-NO ₃ ⁻	Nitrogênio na forma de amônio
N-NH ₄ ⁺	Fósforo disponível no solo
P	Potássio disponível no solo
K	Menor
<	Maior
>	Igual
=	Cálcio
Ca	Alumínio
Al ₃ ⁺	Hidrogênio + Alumínio
H+Al	Centímetro quadrado
cm ²	Metro quadrado
m ²	Miligramas por quilograma
mg kg ⁻¹	Miligrama
mg	Quilograma
kg	Por hectare
ha ⁻¹	Quilograma por hectare
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
kg ha ⁻¹	Megagrama
Mg	Menor que 5 % de significância
P<0,05	Saturação por bases
V%	Gramas
g	Gramas por decímetro cúbico
g dm ⁻³	Centimol por decímetro cúbico
cmol _c dm ⁻³	Magnésio
Mg	Potencial de hidrogênio
pH	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.....	21
2.2 Manejo De Adubação E Da Altura Da Pastagem Em Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.....	23
2.3 Ciclagem De Nutrientes Em Sistema Integrados De Produção Agropecuária.....	24
2.4 Nitrogênio.....	27
2.5 Fósforo.....	31
2.6 Potássio.....	34
2.7 Urina Bovina.....	35
3 DINÂMICA DOS NUTRIENTES EM PONTOS DE URINA ANIMAL AFETADO PELA FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E PRESSÃO DE PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA EM UM LATOSSOLO.....	38
3.1 Introdução.....	38
3.2 Material E Métodos.....	39
3.3 Resultados E Discussões.....	45
3.4 Conclusões.....	65
4 EFEITO DA PRESENÇA DE ÁRVORES E ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE OS NUTRIENTES EM UM SOLO ARENOSO EM PONTOS DE DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	67
4.1 Introdução.....	67
4.2 Material E Métodos.....	69
4.3 Resultados E Discussões.....	75
4.4 Conclusões.....	92
5 CONCLUSÕES.....	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, é altamente dependente do mercado externo para atender a demanda interna em fertilizantes, representado o quarto maior consumidor de fertilizantes agrícolas no mundo (BRASIL, 2019). De acordo com os dados publicado por ANDA (2020), em 2020 foram entregues ao mercado 40 milhões de toneladas, desses apenas 6 milhões vieram do mercado interno, ou seja, 85% do que o país consome vem de outros países. Ainda, o cenário em nível global mostra que a demanda pela produção de alimentos continua crescendo e em paralelo o consumo de insumos agrícolas. Em 2021, em reflexo a pandemia causada pela corona vírus, o mercado de fertilizantes mostrou-se ainda mais instável refletindo em um aumento expressivo no custo de produção.

Diante deste cenário, é importantes o desenvolvimento de pesquisas que visem o reaproveitamento dos nutrientes dentro do mesmo sistema, diminuindo custos de produção pela menor demanda de entrada de fertilizantes externos. Nos últimos anos, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) vêm se destacando em relação ao manejo sustentável do solo. Esses sistemas têm como base a ciclagem biológica de nutrientes, que por sua vez, quando bem manejados podem diminuir a dependência constante por aplicações de fertilizantes. Entretanto, são sistemas mais complexos o que exige do produtor mais atenção e conhecimento, por se tratar de diferentes culturas agrícolas, florestal e animal interagindo na mesma área (KLUTHCOUSKI et al., 2015).

Em SIPA, o animal contribui de forma efetiva na ciclagem de nutrientes (ANGHINONI et al., 2011). Grande parte do que é consumido pelos bovinos, retorna ao sistema via fezes e urina, representando até 90% do total ingerido pelos animais, sendo o nitrogênio e o potássio os principais nutrientes que retornam via urina, já o fósforo retorna principalmente via fezes (HAYNES; WILLIANS, 1993).

A presença de animais em pastejo, pode levar a um aumentoc nas perdas de nutrientes por lixiviação (e outras), principalmente devido à grande concentração de N e K em pontos de deposição de urina bovina. As altas taxas de N nesses pontos, (200 a 2000 kg de N ha⁻¹; SELBIE et al., 2015), geralmente excedem a capacidade das plantas e microrganismos em utilizar esses nutrientes para crescimento, resultando em perdas para o meio ambiente (HOOGENDOORN et al., 2010; CAMERON et al., 2013). De forma geral, o aumento da pressão de pastejo, devido a aplicação de N na pastagem aumenta a carga animal, refletindo em maiores pontos de micção de urina dentro do sistema e maior taxa de nutrientes por micção, o que poderia aumentar risco de lixiviação.

Em contrapartida, uma carga animal adequada, pode contribuir de forma

positiva na manutenção dos nutrientes no solo, através da maior absorção pelas plantas como forma de repor a parte aérea das plantas, retirada no ato do pastejo. Além disso, o sistema manejado corretamente (pressão de pastejo + adubação) possibilitará maior aporte de carbono, tanto pela parte aérea como pelos sistemas radiculares das forrageiras, proporcionando melhorias nas características físicas do solo, aumento da biodiversidade e, fundamentalmente, maior ciclagem dos nutrientes.

E apesar de a urina conter baixo teor de fósforo na sua composição e contribuir de forma menos expressiva na reciclagem desse nutriente no sistema, a mesma por ser uma importante entrada de outros nutrientes e substratos que podem influenciar na dinâmica dos microrganismos do solo e por consequência na disponibilidade ou não de P no solo.

A disponibilidade de nutrientes na solução do solo, por sua vez, é influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destaca a textura do solo. A textura do solo influencia diretamente na ciclagem de nutrientes, no armazenamento e fluxo da água no perfil do solo, teor de matéria orgânica, Capacidade de Troca Catiônica e na atividade microbiológica do solo (FELLER; BEARE, 1997; MENDES et al., 2003; HE et al., 2014). Todos esses fatores interagem entre si e atuam na maior ou menor disponibilidade de nutrientes, e ainda influencia diretamente na manutenção desses no solo.

Solos arenosos devido sua relação direta com o fluxo da água no solo (ALHAMMADI; AL-SHROUF, 2013), são constantemente relacionados com as perdas de nutrientes, principalmente, por lixiviação de nitrogênio e potássio. Por outro lado, solos com textura argilosa possuem maior capacidade de retenção de água e nutrientes, uma vez que o volume de água drenada através do perfil do solo é menor (MYERS et al., 1994; FINCH et al., 2014).

Ademais, adubação nitrogenada realizada na pastagem promove ganhos na produção vegetal, animal e na melhoria da fertilidade do solo, por atuar na intensificação dos processos de ciclagem e reciclagem de nutrientes. O pastejo, dinamiza ainda mais esse processo, uma vez que o animal atua como um catalizador no sistema, consumindo forragem e depositando fezes e urina no solo (FRANZLUEBBERS; STUEDMANN, 2008; ALVAREZ et al., 2014; ANGHINONI et al. 2013).

Aumentar a eficiência do uso dos nutrientes é um grande desafio. Para isso busca-se o entendimento das principais reações que ocorrem no sistema solo-planta-animal, maximizando o uso desse recurso, tanto na produção de grãos como de pastagens em sistemas integrados. Portanto, é importante entender o comportamento dos nutrientes provenientes da urina animal em SIPA para mitigar as perdas e maximizar a

utilização destes nutrientes, tornando a utilização destes sistemas uma importante ferramenta para a sustentabilidade agrícola.

Neste contexto, baseado na hipótese que a aplicação de nitrogênio na pastagem aumenta a taxa de entrada de nutrientes no sistema via urina, e que o manejo da pastagem (alta e baixa altura), o sistema adotado (ILP ou ILPF) e a textura do solo (latossolo ou arenoso) influenciam diretamente na dinâmica dos nutrientes provindos de pontos de micção.

O trabalho foi desenvolvido em dois protocolos experimentais distintos. O primeiro em um latossolo, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação nitrogenada e a pressão de pastejo em pastagem de azevém sobre o comportamento dos nutrientes em sítios de deposição de urina bovina. O segundo avaliou-se o efeito da presença de árvores e adubação nitrogenada sobre o comportamento dos nutrientes em um solo arenoso em pontos de urina animal em sistemas integrados de produção agropecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

Os sistemas agrícolas brasileiros têm passado por mudanças significativas nos sistemas produtivos. A forte pressão de vários setores tanto nacional como internacional para uma produção de alimentos mais sustentáveis ou uma agricultura de baixo carbono tem aumentado a adesão por partes dos agricultores por sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA). Esses sistemas possuem um grande potencial para promover melhorias na qualidade do solo, principalmente por aumentar o estoque de carbono (GAZOLLA et al., 2015). Uma vez que, os sistemas integrados seguem os princípios do plantio direto, rotação de culturas, uso de insumos e genótipos melhorados, manejo adequado da pastagem que promova ganhos na produção animal e ao mesmo tempo promova melhorias da fertilidade do solo e na preservação dos recursos naturais (COSTA et al., 2015)

De acordo com Balbino et al. (2012) os sistemas integrados podem ser classificados em diferentes modalidades, sendo elas: i) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Sistema Agropastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; ii) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Sistema Silvipastoril: sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; iii) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Sistema Silviagrícola: sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes); iv) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Sistema Agrossilvipastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. No presente estudo os sistemas integrados avaliados foram: Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).

No Brasil, de acordo com Maria et al. (2017) existem cerca de 67,8 milhões de hectares de áreas aptas para serem utilizadas integrando os diferentes modelos produtivos. Entretanto, a adoção ainda é pequena no Brasil, correspondendo a cerca de 11,5 milhões de hectares em 2016, 83% formados por sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), 9% por ILPF, 7% por sistemas de Pecuária-Floresta (IPF) e 1% de Integração Lavoura-Floresta (ILF) (EMBRAPA, 2017). No sul do Brasil são inúmeras as áreas que ficam em pousio no inverno (solo descoberto, plantas invasoras, perdas de

nutrientes por erosão e baixa entrada de carbono) e que poderiam ser utilizadas para alimentação de bovinos, integrando lavoura e pecuária (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009; ANGHINONI et al., 2013).

Os sistemas integrados trazem um seria de benéficos aos sistemas produtivos, podendo reduzir custos de produção, aumentar a renda e conservar o meio ambiente. Entretanto, são sistemas mais complexos o que exige do produtor mais atenção e conhecimento, por se tratar de diferentes culturas agrícolas, florestal e animal interagindo na mesma área (KLUTHCOUSKI et al., 2015).

Como visto, são várias as possibilidades de combinações entre os componentes de um sistema, e, portanto, devem ser ajustadas de acordo com a aptidão e interesse do produtor, bem como, aspectos relacionados as características de relevo, conservação do solo e da água, aspectos de fertilidade do solo, mão de obra, domínio de tecnologias (culturas agrícolas e a produção animal), máquinas, infraestrutura e, aspectos mercadológicos (CORDEIRO et al., 2015; BUNGENSTAB, 2012).

De acordo com Alvarenga et al. (2010), o componente florestal representa uma reserva econômica para o produtor rural, e até mesmo para uso da madeira dentro da propriedade. Entretanto, deve se tomar cuidado quanto ao espaçamento entre linhas do componente arbóreo como forma de diminuir o efeito do sombreamento sobre as culturas agrícolas (ALVARENGA et., 2010).

A baixa luminosidade promove modificações morfológicas nas plantas, na parte área, comprimento, espessura e orientação da lâmina foliar, comprimento de colmo, número de folhas e relação folha/colmo (GARCIA et al., 2010). Ainda de acordo com Santos et al. (2015), as forrageiras, em condições de sombreamento, priorizam o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular com menor acúmulo de carboidratos de reserva, diminuindo a produção de biomassa aérea e retardando o início do florescimento. Gramíneas sombreadas, geralmente apresentam maior teor de proteína bruta e maior digestibilidade da matéria seca (ALMEIDA et al., 2012).

Outro fator que é considerado um fator relevante no sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta é em relação ao conforto térmico, pensado em bem-estar animal. O componente arbóreo pode atuar no sentido de barreiras de vento, reduzindo a perda de umidade. Os sistemas integrados, portanto, além de todos esses benéficos citados ainda trazem mais segurança ao produtor, pela diversificação da produção, mantêm o solo em uso o ano todo e ainda, promove ganhos no aspecto social, gerando empregos no campo (EMBRAPA, 2017).

2.2 Manejo de adubação e da altura da pastagem em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária

A adubação nitrogenada realizada na pastagem promove ganhos na produção vegetal, animal e na melhoria da fertilidade do solo, por atuar na intensificação dos processos de ciclagem e reciclagem de nutrientes. O pastejo, dinamiza ainda mais esse processo, uma vez que o animal atua como um catalizador no sistema, consumindo forragem e depositando fezes e urina no solo (FRANZLUEBBERS; STUEDMANN, 2008; ALVAREZ et al., 2014; ANGHINONI et al., 2013).

A adubação realizada em nível de sistema, denominada de “adubação de sistemas” tem como base a ciclagem de nutrientes entre as diferentes fases de um sistema de rotação (ASSMANN et al., 2018). Na prática, a adubação de sistema considera todo o sistema de produção (ciclagem de nutrientes entre as fases do sistema) e a adubação na fase pastagem se torna fator preponderante na viabilização do sistema, uma vez que, permite melhorias nos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo (ASSMANN et al., 2017). De acordo com Assmann et al. (2003), a aplicação de N na fase de pastejo promove redução da relação C/N do material residual e estimula uma maior atividade microbiana, que por consequência torna a ciclagem dos nutrientes mais rápida e eficaz, disponibilizando nutrientes para a cultura de grãos que vem na sequência, este fato torna viável a antecipação da adubação nitrogenada.

Ainda a adubação de sistema busca a máxima eficiência no uso dos nutrientes por meio do estímulo a ciclagem biológica de nutrientes. Neste sentido, teríamos redução na entrada de insumos externos e diminuição das perdas desses nutrientes do sistema pela constante ciclagem (ASSMANN; SOARES, 2016), resultando em menor custo de produção e impactos ambientais (SARTOR et al., 2014), o que foi evidenciado por Bortolli (2016), Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018), ao verificar que a adubação nitrogenada da pastagem ($200 \text{ kg de ha}^{-1}$) aumentou a disponibilidade de N mineral às plantas, resultando em maior produtividade de forragem, além de não resultar em perdas de N por lixiviação de nitrato.

Ademais, a antecipação da adubação nitrogenada realizada na fase de pastejo possibilita diminuir ou até mesmo eliminar a aplicação de nitrogênio na fase lavoura. Follmann (2015) ao avaliar a dinâmica do N mineral em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de ILP evidenciou que o N aplicado na pastagem apresenta efeito residual para a cultura de grãos no verão. Assmann et al. (2003), trabalhando com cultivo de milho em áreas de ILP, constatou que quando a pastagem recebeu 300 kg ha^{-1} de N, a cultura de milho não respondeu adubação aplicado

em cobertura. Do mesmo modo, Bortolli (2016), não observou acréscimo da produtividade de milho com diferentes doses de N, quando essa lavoura recebeu 200 kg ha⁻¹ de N na pastagem, com baixa ou alta intensidade de pastejo, comparado com N recebido na cultura no verão.

Por outro lado, o efeito residual da cultura de grãos para a pastagem ocorre de maneira menos intensa, e geralmente não supre a necessidade de nutrientes pelas plantas forrageiras. De acordo com estudos realizados Bernardon (2016) e Aiolfi (2018), evidenciou-se que a adubação nitrogenada da cultura de grãos anterior à pastagem não apresentou efeito residual para sustentar elevadas produções de forragem.

A viabilidade dos sistemas integrados está embasada em das estratégias de manejo, a adubação realizada na fase pastagem e pelo ajuste da pressão de pastejo ou da intensidade de utilização da pastagem (ASSMANN et al., 2003). Ainda segundo os mesmos autores, a adubação nitrogenada é fundamental, pois é promotor essencial do crescimento, produtividade e qualidade do pasto.

O manejo adequado da pastagem é fundamental para que não ocorra degradação do solo. Um pastejo moderado, permite ter produtividade adequada (pasto e ganho médio diário (kg PV ha⁻¹), com resíduos suficientes para não comprometer o sistema.

A manutenção e acúmulo adequado de resíduos vegetais na superfície do solo, são importantes, pois promovem melhorias na atividade biológica, aumento dos estoques de carbono, ciclagem de nutrientes, estado de agregação e qualidade do solo, maior armazenamento de água no solo, proporcionado pelo aumento na taxa de infiltração e pela diminuição da evaporação na superfície do solo e ainda reduzem as perdas de solo e nutrientes pelo processo erosivo (MARTINS et al., 2015).

Segundo Cruz et al. (2012), em sistema de plantio direto é exigido minimamente 2000 kg de matéria seca ha⁻¹ de palhada sobre o solo para manutenção dos seus processos. Para tanto, Carvalho et al. (2010) indicam alturas de 20 a 25 cm de azevém como as que apresentam melhor correlação positiva entre produtividade animal e quantidade de palhada residual do solo.

2.3 Ciclagem de nutrientes em Sistema Integrados de Produção Agropecuária

A integração lavoura pecuária, assim como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, baseiam-se no princípio de que a maior reciclagem de nutrientes, promovida

pelo pastejo das pastagens de inverno, traz importante contribuição para os cultivos voltados à produção de grãos no verão. A presença de maiores teores de matéria orgânica contribui para imobilização temporal do nutriente que posteriormente ficaria disponível para as próximas culturas (BONA FILHO, 2002). Isso só é possível pelo constante retorno e reutilização do mesmo nutriente dentro do sistema que permanece ciclando entre os componentes; solo-planta-animal. Alves et al. (2015), apontam que a maior quantidade de resíduos na superfície do solo e na subsuperfície através das raízes, promove maior quantidade de nutrientes a serem ciclados entre a fase pastagem e a fase lavoura. E a adubação nitrogenada da pastagem promove maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, o que possibilita alcançar altas produtividades nos cultivos subsequentes (BERNARDON, 2016).

A ciclagem de nutrientes nos ecossistemas da pastagem é um processo dinâmico que envolve solo-planta-animal e o manejo desses componentes. Os animais influenciam a ciclagem e redistribuição de nutrientes através do consumo de nutrientes minerais via desfolhação das plantas da pastagem e através do retorno dos nutrientes minerais para o solo via excreção (NASCIMENTO JR.; CAVALCANTE, 2001).

A reciclagem de nutrientes dentro do sistema de ILP, é influenciada diretamente pela decomposição do material morto oriundo das plantas e das excretas de animais, uma vez que esses minerais podem ou não ser imobilizado pelos microrganismos presentes no solo (FONSECA; MARCELINO, 2002). Entretanto, o pastejo pode influenciar nos processos de mineralização/imobilização de N, promovendo uma rápida decomposição de substratos (SINGH et al., 1991) e aumentando a taxa de ciclagem de N resultante da decomposição de urina e fezes (BAUER et al., 1987).

Além de todos esses processos mencionando no sistema de ILP, no sistema de ILPF ainda existe mais um componente que atua na manutenção dos nutrientes no sistema. O componente arbóreo amplia a área de atuação das raízes contribuindo para maior ciclagem de nutrientes. Balbinot Junior et al. (2009), aponta que a presença de diferentes sistemas radiculares altera a dinâmica de exploração das raízes no solo, aumentando-se a capacidade de acessar nutrientes em camadas mais profundas e, além disso, os resíduos deixados na área, principalmente pelos animais, aceleram a ciclagem de nutrientes, tornando-os disponíveis às culturas subsequentes.

Ainda, outros fatores podem contribuir para a ciclagem e manutenção dos

nutrientes no solo, como o manejo das áreas de ILP e ILPF seguindo os preceitos do SPD, das quais permitem condições de cobertura viva sobre o solo durante o ano inteiro, como também a presença de resíduos culturais sobre o solo, que podem diminuir a temperatura e a perda de umidade por evaporação, além de aumentar a CTC do solo, diminuindo as perdas de N do sistema (DA ROS et al., 2005). A longo prazo, o aumento do teor de MO, verificada nestes sistemas também se torna um grande aliado na redução das perdas de N. O alto teor de matéria orgânica do solo favorece o aumento da CTC do solo, contribuindo para a adsorção de NH_4^+ as cargas do solo e com isso reduzindo as perdas de N por volatilização Martha Junior (2003). E além disso, os altos teores de MO estão diretamente relacionados com a atividade biológica do solo, quando ocorre aplicação de nitrogênio via fertilização nitrogenada, este promove a ativação e reprodução dos microrganismos aumentando a sua população. Assim, o N utilizado permanece imobilizado até que ocorra a morte desses microrganismos, e este nutriente seja reutilizado novamente via mineralização de N (MARY et al., 1996).

De acordo com Assmann et al. (2017) algumas características próprias do sistema ILP justificam a maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados. O menor espaçamento entre linhas no cultivo da pastagem aumenta a probabilidade de contato das raízes com os fertilizantes aplicados, favorecendo sua absorção; o pastejo estimula as plantas ao rebrote, e conseqüentemente uma maior absorção desse nutriente visando repor o aparato fotossintético, diminuindo a possibilidade de perdas; e o intervalo de tempo para a aplicação de adubações nitrogenadas em pastagens são maiores quando comparado à cultura de grãos, isso possibilita que a aplicação seja feita em condições climáticas mais propícias, o que potencializa o aproveitamento do N proveniente dos fertilizantes.

Os sistemas integrados trazem uma série de benefícios ao sistema. No solo, há maior quantidade de matéria orgânica, maior ciclagem de nutrientes, maior atividade de microrganismos, maior infiltração de água, menor perda de umidade e menor risco de erosão. O aproveitamento de nutrientes é maior uma vez que as forrageiras e as árvores conseguem capturar nutrientes em profundidades maiores, evitando o processo de lixiviação, além das raízes atuarem na descompactada do solo. A palhada deixada de uma cultura para outra, além de servir de rotação física do solo, ainda promove liberação de nutrientes que beneficiará a cultura subsequente.

Diante do exposto fica evidente o efeito positivo que a ciclagem de

nutrientes proporciona dentro dos sistemas integrados de produção agropecuária. Portanto, conhecer como a dinâmica da ciclagem, das perdas e das adições de nutrientes acontecem nos diferentes sistemas produtivos é de grande importância tornando-se uma estratégia de sustentabilidade dos sistemas produtivos.

2.4 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é dentre os nutrientes absorvidos do solo, requerido em maior quantidade pela maioria das culturas por ser parte integrante de todos os aminoácidos, proteínas, faz parte também da molécula de clorofila, das amins, amidas, enzimas, alcaloides e hormônios. Dessa forma, a deficiência de N afeta todos os processos vitais da planta, sendo um dos principais fatores limitantes para seu crescimento (BISSANI et al., 2008; FLOSS, 2011; KERBAUY, 2012).

Do ponto de vista agrícola, o ciclo do nitrogênio no solo é o mais importante (CANTARELLA, 2007), a velocidade e a quantidade de nutrientes absorvidos pelos vegetais dependem de uma série de fatores ambientais, como o clima e solo, além das condições da própria planta principalmente, estado nutricional, turgescência e características genéticas (MOTTA et al., 2007). O N é o elemento que apresenta maiores dificuldades de manejo na produção agrícola, mesmo em propriedades que recebem orientações técnicas, devido a sua multiplicidade de reações químicas e biológicas, à dependência das condições ambientais e ao seu efeito no rendimento das culturas (BISSANI et al., 2008).

Na forma molecular, o nitrogênio não é diretamente aproveitado pela planta. A quebra de ligação tripla entre os átomos de N não ocorre em células de plantas e animais. A incorporação do N₂ do ar atmosférico nos sistemas biológicos somente é possível pela fixação biológica e síntese industrial (FLOSS, 2011). Rajj (2011), complementa ainda que esse processo pode ocorrer também por descargas elétricas.

Portanto, o N apesar de sua grande disponibilidade, cerca de 79% da atmosfera terrestre (KERBAUY, 2012) é o elemento que necessita da maior parcela de energia, entre os macronutrientes, para ser transformado em adubos minerais em formas disponíveis para as plantas (RAIJ, 2011).

No solo, o grande estoque de N se encontra na forma orgânica, como parte da matéria orgânica do solo (MOS), a mineralização da matéria orgânica (MO) libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas em muitos sistemas agrícolas (CANTARELLA, 2007). O nitrogênio orgânico precisa sofrer transformações antes de estar disponível pra planta, passando da forma orgânica para a forma mineral, N-orgânico \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- (RAIJ, 2011).

A mineralização consiste, portanto, da transformação do N orgânico (aproximadamente 98% do N total do solo, se encontra na forma orgânica), presente na estrutura de materiais de origem animal e/ou vegetal, para a forma mineral da qual estará disponível para as plantas. Esse processo se dá através de microrganismos, principalmente fungos e bactérias e é influenciado drasticamente pela temperatura, umidade do solo, boa aeração, pH, quantidade de matéria orgânica e pela atividade dos microrganismos. A quantidade de N mineralizado é maior em estações do ano cujas temperaturas são maiores, entre 25 e 30 °C, devido a uma ação mais ativa dos microrganismos (ERNANI, 2003; BISSANI et al., 2008).

Já a imobilização do N é um processo concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso. A imobilização é definida como a transformação do N inorgânico em N orgânico. Microrganismos são responsáveis por esse processo que incorporam o N inorgânico disponível no solo as suas células, quando morrem o N assimilado pode ser mineralizado ou imobilizado novamente (CANTARELLA, 2007).

A imobilização microbiana do N não representa fenômeno de perda de N e sim a sua conservação, mas esse processo pode comprometer a adequada disponibilidade de N às plantas em momentos pontuais (CERETTA, 2000). A relação carbono: nitrogênio (C/N) do material em decomposição indica se esse N contido nos resíduos vegetais será mineralizado ou imobilizado pelos microrganismos. Assim sendo, quando essa relação for baixa, menor que 25/1 a 30/1, há liberação rápida de NH_4^+ , que poderá ser absorvido pelas plantas. No entanto quando essa relação for acima desses valores, ocorre a imobilização desse N pelos microrganismos mesmo que temporariamente (BISSANI et al., 2008).

O nitrogênio pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion (NO_3^-) e como cátion (NH_4^+) (ZAVASCHI, 2010). Segundo Ernani (2003),

quando a planta absorve N na forma de amônio, ocorre a acidificação da rizosfera, uma vez que nesse processo ocorre a liberação de átomos de hidrogênio, por outro lado, quando o N é absorvido na forma de nitrato eleva o pH em torno das raízes, pela liberação de moléculas de hidroxila ou de bicarbonato.

A transformação do N amoniacal (NH_4^+) em N nítrico (NO_3^-) ocorre pelo processo chamado de nitrificação, essa reação ocorre espontaneamente em solos oxigenados, sendo realizado por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas sp* e *Nitrobacter sp* (ERNANI, 2003; BISSANI et al., 2008).

Fatores como a elevação do pH proporcionada pela adição de calcário e solos bem aerados, favorecem a nitrificação. Assim como também temperatura, umidade e teor de NH_4^+ presente no solo (BISSANI et al., 2008). No entanto, segundo Ernani (2003), a nitrificação é indesejável, uma vez o nitrato (N-NO_3^-) possui carga negativa, mesmo tipo de carga do solo, o que impede sua ligação com partículas sólidas, permanecendo totalmente livre na solução do solo, podendo perde-se por lixiviação.

Uma das formas de aumentar a disponibilidade de nitrogênio no solo é através da adição de fertilizantes minerais. A aplicação de ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], é rapidamente hidrolisada pela enzima urease presente no solo, resultando na formação de carbamato de amônio: $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (ureia) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_2\text{COONH}_4$. Em seguida, em meio aquoso, o carbamato de amônio se transforma em carbonato de amônio $\text{NH}_2\text{COONH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, que é instável em meio ácido, portanto, na presença de prótons (H^+) livres, ele se decompõe rapidamente produzindo amônio (NH_4^+), dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O): $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, o que implica elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Uma molécula de amônio reage com uma hidroxila (OH^-), formando amônia (NH_3), que é volátil, sendo facilmente perdida para a atmosfera $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (ERNANI et al., 2001; ROCHETTE et al., 2009; MIKKELSEN, 2009; TASCA et al., 2011).

Permanecendo no solo o NH_4^+ pode sofrer transformações pelos microrganismos, passando para a forma de Nitrato (NO_3^-) podendo ser perdido pelo processo de lixiviação, da qual, assim como a volatilização de NH_3 , vai depender de uma série de fatores que podem contribuir ou minimizar essas perdas (ROCHA et al., 2008; KERBUAY, 2012). Esses dois assuntos serão apresentados na sequência.

2.4.1 Lixiviação de nitrato

Em sistema de produção agropecuária, a entrada de nitrogênio se dá principalmente via adubação mineral, através da aplicação de fertilizantes agrícolas e pelas excretas (fezes e urina) dos animais. De acordo Rodrigues et al. (2008), 62% do N ingerido através da dieta oferecida ao animal, retorna ao sistema via urina. E mais de 90% do N contido na urina encontra-se em formas orgânicas principalmente na forma de ureia, que é hidrolisada rapidamente tornando-se disponíveis às plantas e aos microrganismos do solo (ROTZ et al., 2005; ROCHETTE et al., 2014).

Em solos bem arejados, por exemplo, predomina o N na forma nítrica (NO_3^-), o N amoniacal (NH_4^+) é convertido a nitrato por microrganismos do solo num processo denominado de nitrificação, que é favorecido em condições aeróbicas, altas temperaturas e pH próximo da neutralidade. E sendo o nitrato de carga negativa e a maioria das cargas da superfície do solo também serem negativas faz com que este seja perdido facilmente com a água, pelo processo de lixiviação (CANTARELLA, 2007).

Portanto, o NO_3^- por ter carga negativa é pouco retido no solo, estando sujeito a perdas por lixiviação. Alguns fatores podem atuar neste processo, como a textura do solo, quantidade de adubo aplicado, tipo de adubação, exigência e absorção de N pelas plantas, quantidade e frequência de precipitação pluvial, manejo da irrigação, condições de drenagem e dinâmica das transformações do N como mineralização, imobilização e desnitrificação (CAMPBELL et al., 1993). Meisinger et al. (2008), relatam que a lixiviação representa em média 10 a 30% das perdas do nitrogênio adicionado ao solo. No entanto, isso irá depende de uma série de fatores que podem contribuir aumentando essas perdas, ou podem atuar de forma positiva, mantendo esse nutriente no solo, ou ciclando no sistema. Cantarella (2007), observando diversos experimentos com medição de lixiviação de nitrato no Brasil, verificou que as perdas por este processo têm sido pequenas, este autor atribuiu esses resultados pelo fato das doses de N usadas no Brasil serem relativamente baixas e a adubação nitrogenada ser parcelada.

Em trabalho realizado por Benardon (2016), em um Latossolo Vermelho, conduzido sob sistema de ILP não foi verificada lixiviação de NO_3^- em solos com alto teor de matéria orgânica e com adubação de 200 kg de N ha^{-1} em uma única aplicação no perfilamento da pastagem de aveia preta 'BRS 139' mais azevém 'Barjumbo'. De acordo

com Primavesi et al. (2006), pode-se esperar baixo risco potencial de contaminação do lençol freático com N-NO_3^- em solos profundos com doses iguais ou inferiores a $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N em pastagens.

Em sistemas pastoris bem manejados as perdas de N podem ser inexpressivas (TOWNSEND, 2011). Segundo Martha Júnior (2003), menos de 5 % do N aplicado sofre o processo de lixiviação, e um dos fatores que contribuem para isso é a capacidade de extração de nutrientes que as forrageiras possuem. O pastejo estimula o rebrote das plantas e com isso, há uma maior absorção de nutrientes prontamente disponíveis pelas excretas, como via fertilização mineral, diminuindo assim a possibilidade de perdas deste nutriente. Maxwell et al. (2018), concluiu que plantas de azevém apresentam elevado potencial de redução de lixiviação de NO_3^- , devido sua capacidade de produzir maior quantidade de matéria seca (MS) e com isso absorverem maiores quantidades de N. Para Woods et al. (2017) as plantas de azevém oferecem benefícios na redução das perdas por lixiviação do N contido na urina pela sua alta capacidade de absorção. Portanto, as perdas de nitratos podem ser baixas ou inexistentes se a disponibilidade de N-urina coincidir com a demanda de absorção da planta.

Ainda a deposição de urina por conter alto teor de N na sua composição altera toda a dinâmica da microbiota do solo. Segundo Orwin et al. (2010), esta deposição estimula a atividade de bactérias nitrificadoras e desnitrificadoras devido ao incremento de N. A urina também fornece outros recursos, como água, enxofre e carbono lábil, os quais estimulam a atividade microbiana e a biomassa em geral (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Portanto, assim como as plantas, os microrganismos do solo podem atuar no sentido de reduzir as perdas de N, utilizando o N disponível para crescimento e imobilizando-o temporariamente.

2.5 Fósforo

O Fósforo (P) pode ser um fator muito limitante no rendimento das culturas, por fazer parte de biomoléculas como ácidos nucleicos e ATP, e por ser considerado o segundo nutriente que mais limita a produtividade nos solos tropicais (GATIBONI, 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Apesar dos solos conterem grande quantidade de P total, a sua disponibilidade na solução do solo para absorção pelas plantas é muito baixa, devido à

forte tendência do P forma compostos de baixa solubilidade no solo (RAIJ, 1991; BISSANI et al., 2008). De acordo com Malavolta (1989) as plantas conseguem aproveitar muito pouco (10%) do fósforo que é aplicado via fertilizante, devido sua grande interação entre as partículas do solo. Esse comportamento é consequência de sua habilidade em formar compostos de alta energia de ligação com os coloides do solo (GATIBONI, 2003).

Solos intemperizados possuem alta capacidade de adsorção de P, pois contém altos teores de óxidos de alumínio e de ferro, principalmente os com baixa cristalinidade e elevado desbalanço de cargas (SPOSITO, 2008). De acordo com o mesmo autor as partículas minerais de tamanho argila apresentam maior número de sítios de adsorção de ânions, devido à sua maior área superficial específica, o que confere ao solo maior capacidade de adsorver o P, diminuindo suas formas disponíveis, ao contrário acontece em solos arenosos devido à baixa concentração de argila.

O fósforo total do solo é composto de diferentes formas, orgânicas e inorgânicas, que apresentam diferentes graus de labilidade. A maior parte das reservas de P do solo é não lábil, estando quimicamente muito estável e difícil de tornar-se disponível às plantas. A fração lábil é geralmente menor que 5% de P do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O P inorgânico pode ser separado em duas partes: o fósforo dos minerais primários ou estrutural, fósforo adsorvido, e o fósforo da solução do solo, que se encontra em pequenas quantidades. O fósforo orgânico é originário dos resíduos adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (GATIBONI, 2003). O manejo do solo tem influência sobre as formas de P no solo, e isso irá interferir diretamente nessas reações, disponibilizando mais ou menos P na solução do solo.

Ademais, a reciclagem do P no solo tem estreita relação com os ciclos dos outros elementos via matéria orgânica. O P orgânico do solo varia de 3 a 90% de P total, dependendo do tipo de solo, ou de 1 a 3% da MOS, e é segundo nutriente mais abundante na matéria orgânica do solo (MOS), além de possuir alta concentração de P nos microrganismos, que pode atingir, por exemplo, 2% da matéria seca nas bactérias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os microrganismos do solo desempenham papel fundamental no ciclo biogeoquímico do fósforo (P) e na sua disponibilidade para as plantas. O P contido na biomassa está imobilizado temporariamente, diminui a adsorção específica aos coloides inorgânicos do solo (TATE et al., 1991). E, portanto, a fração contida na biomassa microbiana é de suma importância na nutrição das plantas em solos tropicais e subtropicais (RHEINHEIMER et al., 2000).

Em solos desenvolvidos, a mineralização do fósforo orgânico passa a ser a fonte principal de tamponamento do fósforo, uma vez que, os coloides inorgânicos atuam principalmente como dreno e competem com as plantas pelo fósforo (SMECK, 1985; SHARPLEY et al., 1987). Assim, as formas orgânicas de P passam a ser um componente importante na dinâmica de disponibilidade desse nutriente no solo (DODD; SHARPLEY, 2015; TIECHER et al., 2012). É importante destacar que o P orgânico também é adsorvido fortemente pelos grupos funcionais dos argilominerais e óxidos, de acordo com Rubæk et al. (1999), as partículas de argila possuem até 12 vezes mais P orgânico comparado às partículas de silte e areia, respectivamente.

De acordo com estudo realizado por Tokura et al. (2002), os solos de textura média e arenosa apresentaram maiores porcentuais de P nas formas pouco lábil, e lábil, comparativamente aos solos argilosos que apresentaram maiores porcentuais nas formas pouco lábil e não-lábil. Os autores destacam que esses resultados são importantes quanto ao manejo da adubação fosfatada nestes solos e, que do ponto de vista prático, os resultados demonstraram que o sistema PD proporciona melhores condições de disponibilidade do P, principalmente na forma P_i , em solos de textura argilosa.

As plantas adquirem P da solução do solo predominantemente como fosfato inorgânico (P_i) ($H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$), com taxas máximas de absorção em pH 5,0 e 6,2, sendo a atividade enzimática fortemente afetada pelo pH e conseqüentemente a disponibilidade de P inorgânico (RAIJ, 2004; BISSANI et al., 2008; HINSINGER, 2001).

Ainda, é importante destacar o papel das enzimas fosfatases presentes no solo e que são liberadas principalmente por plantas e microrganismo, essas enzimas são responsáveis pela transformação do P orgânico em P inorgânico (MARKLEIN; HOULTON, 2012; HEUCK et al., 2018). As enzimas fosfatases são ricas em N e necessitam deste nutriente para obter P (OLANDER; VITOUSEK, 2000). Em vista disso, é importante o suprimento de N no sistema, no sentido de aumentar a disponibilidade de P, aumentando a atividade da fosfatase. Por outro lado, a acidificação do solo resultante da adição de N, pode alterar a disponibilidade de nutrientes, as comunidades microbianas e a atividade da fosfatase (MARKLEIN; HOULTON, 2012).

O manejo do solo tem influência sobre as formas de P no solo e sua, disponibilidade na solução do solo. Os sistemas integrados por exemplo, modificam o fluxo dos nutrientes no sistema, pela presença de animais que consomem forragem e devolvem os nutrientes em forma de excretas (fezes e urina) em formas mais solúveis. De acordo com Singh et al. (1991), o pastejo influencia nos processos de mineralização/imobilização, promovendo uma rápida decomposição de substratos.

2.6 Potássio

O potássio na planta apresenta alta mobilidade e não é metabolizado, não fazendo parte da estrutura química de compostos na planta, no entanto, exerce funções regulatórias muito importantes, sendo necessário para ativar pelo menos 50 enzimas (BISSANI et al., 2008). O K é o segundo elemento requerido em quantidade pelas plantas e o cátion mais abundante no tecido vegetal (BATISTA et al., 2018).

No solo, o K é um elemento estrutural dos minerais do solo, é adsorvido de forma trocável a minerais de argila e matéria orgânica, e encontra-se em 4 compartimentos, sendo sua importância dependente do material de origem do solo e do seu grau de intemperismo (BATISTA et al., 2018). De acordo com esses mesmos autores o 'K estrutural' é aquele que faz parte da estrutura de minerais primários e este compartimento é considerado indisponível às plantas, sendo disponibilizado pela ação do intemperismo; o 'K não trocável' é aquele associado a minerais secundários e está 'lentamente disponível' às plantas; já o 'K trocável' (adsorvido aos coloides) e o K solúvel (solução do solo) estão 'prontamente disponíveis'.

O potássio tem apenas uma carga de valência (K^+) (um íon monovalente), é pouco adsorvido pelos coloides do solo (ERNANI et al., 2007) e pode ser carregado junto com a água no sentido descendente no perfil do solo, desde que esteja presente na solução do solo. De acordo com, Oliveira e Villas-Boas, (2008) o potássio da solução do solo pode se mover no perfil junto com a água drenada, o problema ocorre quando o K lixiviado atinge profundidades abaixo do sistema radicular das culturas.

O movimento do K no perfil do solo, vai depender de uma série de situações que podem aumentar ou diminuir sua movimentação. A textura do solo, por exemplo influencia significativamente nesse movimento de descida do k no perfil (NEVES et al., 2009). A capacidade de troca de cátions (CTC) o regime de água, dose e a solubilidade do fertilizante adicionado ao solo (ROSOLEM et al., 2006). Além desses fatores que interferem na dinâmica do K no solo, ainda são considerados fatores importantes; material de origem e grau de intemperismo, mineralogia, pH do solo e, fatores relacionados a planta (morfologia do sistema radicular e poder de absorção de nutrientes pelas raízes) (BISSANI et al., 2008).

Para tanto, a lixiviação de potássio pode se tornar um evento importante em algumas condições: i) baixa CTC – geralmente associada, a ambientes de baixa quantidade de argila (solos de textura média a arenosa) – e/ou baixa quantidade de matéria orgânica, ii) aplicação de elevadas doses desse nutriente no solo, iii) alta

precipitação ou irrigação e, iv) e solos ácidos (BATISTA et al., 2018).

Geralmente solos arenosos tendem a apresentar maior lixiviação de K, em comparação com solos argilosos. De acordo com Mielniczuk (1982), solos argilosos possuem maior capacidade de troca de cátions, ou seja, para a mesma quantidade de K total, haverá menos J na solução do solo, em solos argilosos (maior CTC), refletindo em menores perdas de K na lixiviação. Uma vez que o potássio, estando na solução do solo se move junto com a água no sentido descendente como já comentado.

De acordo com Rosolem et al. (2006), o K é passível de ser extraído com relativa facilidade da cobertura morta, sem haver, necessariamente, decomposição e mineralização biológicas, por não ser um constituinte estrutural de moléculas e tecidos da planta. Em estudo realizado por Rosolem et al. (2003), com restos vegetais de seis espécies de plantas de cobertura submetidas a diferentes quantidades de chuva simulada, observaram que essas palhas podem fornecer ao solo uma quantidade considerável de K, de 7 a 24 kg ha⁻¹, sob um volume de chuva acumulada de 70 mm, sem que houvesse decomposição da palha. Assmann et al. (2017), verificaram num sistema conduzido em ILP que em menos de 30 dias aproximadamente 80% do K foi liberado dos tecidos vegetais em decomposição via processo de mineralização.

2.7 Urina bovina

Grande parte do que é consumido pelos bovinos retorna ao sistema via fezes e urina, podendo representar até 90% do total consumindo (HAYNES; WILLIANS, 1993). A concentração dos nutrientes, a quantidade e o número de excreções variam de acordo com o manejo a qual o animal está inserido, como as condições de pastejo (qualidade da forragem, suplementação), fatores climáticos, ingestão de água, época do ano, idade, peso entre outros fatores (HAYNES; WILLIANS, 1993).

O nitrogênio e o potássio, retornam ao sistema principalmente via urina, enquanto o P ocorre via fezes. De acordo Rodrigues et al. (2008), 62% do N ingerido através da dieta oferecida ao animal, retorna ao sistema via urina. E mais de 90% do N na urina encontra-se em formas orgânicas principalmente na forma de ureia, que é hidrolisada rapidamente tornando-se disponíveis às plantas e aos microrganismos do solo. A concentração de N na urina pode variar de 1 a 18 g N L⁻¹ (BRISTOW et al., 1992; OENEMA et al., 1997; HOOGENDOORN et al., 2010).

Da mesma forma que o nitrogênio, a concentração de potássio na urina é

alta, estando entre 15 e 32 g K L⁻¹ dependendo do manejo e época do ano (RODRIGUES et al., 2008). Do total de potássio ingerido pelos animais, cerca de 90% retorna via excretas para o solo, sendo a maior parte excretada via urina, (70-90%), na forma iônica, solúvel em água e prontamente disponível para a absorção pelas plantas (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

A principal via de entrada de P através das excretas de bovinos em sistemas integrados se dá principalmente via fezes, e representa 95% do que é excretado pelo animal (HAYNES; WILLIAMS, 1993). A urina contribui de forma praticamente inexpressiva em quantidade de P adicionada por esta via, conforme apresentado Haynes e Williams, (1993), na urina é encontrado apenas traços desses elementos. Safley et al. (1984), e Rodrigues et al. (2008), encontraram concentrações de P entre 0,2 e 0,24 g L⁻¹ de urina, respectivamente.

Apesar de a urina conter baixo teor de P na sua composição e contribuir de forma menos expressiva na reciclagem desse nutriente no sistema, a mesma é uma importante entrada de outros nutrientes e substratos que podem influenciar na dinâmica dos microrganismos do solo e por consequência na disponibilidade ou não de P no solo, justificando-se assim a importância de ser estudado o comportamento desse nutriente em SIPA.

Em sistemas integrados de produção agropecuária a dinâmica dos nutrientes se dá de forma diferenciada. A inclusão do animal modifica a forma de entrada dos nutrientes, uma vez que os mesmos passam pelo sistema digestório dos animais e retornam ao solo via deposição de fezes e urina. Ferreira et al. (2009), destacam que a dinâmica do K em ILP divergem daquelas de outros sistemas de manejo, por que são mais complexos e envolvem a integração entre o manejo da cultura de grão, bem como o manejo dos animais inserido no sistema. De acordo com Souto (2006), a presença de animais em sistema de ILP resultou em aumento nos teores de K no solo. Entretanto, isso está diretamente relacionado ao manejo adequado do sistema, uma vez que, em algumas situações a disponibilidade de nutrientes pode diminuir, como; em pastejo com alta intensidade e que não são fertilizadas adequadamente.

O ato de pastejar possui efeito muito benéfico na ciclagem de nutrientes no sistema, trazendo-os das camadas mais profundas para as mais superficiais do solo, e disponibilizando para a cultura sucessora. Ademais, a alta produção de MS geralmente associada as plantas forrageiras, faz com que haja alta demanda por nutrientes, especialmente o K (FERREIRA et al., 2009).

Dessa forma, os sistemas integrados influenciam diretamente na dinâmica

dos nutrientes pela entrada constante de fezes e urina e, tem sido objeto de vários estudos, destacando neste sentido a grande complexidade que envolvem esses sistemas. Neste contexto, Sartor (2012), num experimento de integração feijão/milho-ovinos de corte, constataram um menor acúmulo de K no solo ocasionado pelas maiores doses de N, o autor justifica que esse resultado seja provavelmente pelo efeito da maior carga animal na condição de maior fertilização da pastagem. Ferreira et al. (2009), observaram menores teores de K na altura de manejo da pastagem de 10 cm, ou seja, com maior carga animal, atribuindo os resultados a possíveis perdas.

Em estudo realizado por Ferreira et al. (2011), concluíram que ciclagem de K aumenta com o aumento da intensidade de pastejo, sendo determinada pela quantidade de matéria seca da pastagem, principalmente aquela ingerida pelos animais. Ainda o maior déficit no balanço de K foi verificado nas áreas de maior intensidade de pastejo (altura 10 cm), os autores atribuíram esse resultado ao fato, pelas maiores perdas de K, por erosão, escoamento superficial ou lixiviação, devem ter ocorrido em razão da maior ciclagem desse nutriente, resultante da presença de maior número de animais (3,22 animais ha⁻¹), aliada à grande pluviosidade ocorrida no local no período de pastejo. E por fim, o estudo mostra que a maior ciclagem e balanço negativo de K nas áreas com pastejo não influenciam a produtividade da soja, em solo cujos teores disponíveis desse nutriente mantêm-se altos.

3 DINÂMICA DOS NUTRIENTES EM PONTOS DE URINA ANIMAL AFETADO PELA FERTILIZAÇÃO NITROGENADA E PRESSÃO DE PASTEJO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA – PECUÁRIA EM UM LATOSSOLO

3.1 Introdução

Em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), o animal é o principal componente responsável pela intensificação da ciclagem de nutrientes, assim como a aplicação de fertilizantes na pastagem, principalmente os nitrogenados. Desta forma, forrageiras manejadas sob adequada pressão de pastejo e que são fertilizadas tendem a suportar maior carga animal, retornando ao sistema maior quantidade de nutriente extraído via consumo de forragem. De acordo Rodrigues et al. (2008), 62% do N ingerido através da dieta oferecida ao animal, retorna ao sistema via urina. E mais de 90% do N na urina encontra-se em formas orgânicas principalmente na forma de ureia, que é hidrolisada rapidamente tornando-se disponíveis às plantas e aos microrganismos do solo (ROTZ al., 2005; ROCHETTE et al., 2014). O Potássio por sua vez também é excretado principalmente via urina, sendo que 70-90% do K do que é consumido pelo animal retorna ao sistema. O Fósforo, entretanto, é basicamente excretado via fezes (95%), retornado via urina apenas resquícios deste nutriente (HAYNES; WILIAMS, 1993; RODRIGUES et al., 2008).

O nitrogênio possui especial interesse no manejo dos sistemas agrícolas, recebendo atenção por ser o principal nutriente limitador da produção. Além disso, representa um importante custo variável de entrada e possui um complexo caminho de entradas e saídas dos sistemas, o que pode torná-lo um importante meio para impactos ambientais negativos. Apesar de o potássio ser considerado um nutriente altamente solúvel em água e ser facilmente lixiviado, o mesmo não tem sido associado a problemas ambientais, entretanto assim como o nitrogênio, representa um fator limitante da produção e que quando mal manejado acarreta em alto custo para os sistemas produtos. Por outro lado, apesar de o fósforo não ser carregado facilmente pelo processo de lixiviação, o mesmo é considerado um nutriente que apresenta sérios riscos ambientais associados à eutrofização (GAXIOLA et al., 2001), e altamente importante no ciclo de desenvolvimento das culturas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Uma das principais vias de perdas de N é através do processo de lixiviação. Esse processo é influenciado por fatores que determinam o fluxo da água no solo, como a textura, pela concentração e forma do nitrogênio presente no solo (NO_3^- e/ou NH_4^+) e pela

absorção deste nutriente pelas plantas (WHITE, 1989). Em sistemas agrícolas onde o animal faz parte do processo produtivo, como é o caso da Integração Lavoura-Pecuária, a distribuição do nitrogênio é realizada de forma desuniforme nos campos de pastagens. Assim, os sítios de deposição de urina bovina, que concentram grandes quantidade de N, podem tornar-se pontos importantes de disponibilidade de nutrientes, mas também, de perdas de N no sistema.

Entre as formas de N-Mineral disponível no solo, o nitrato (NO_3^-) está mais susceptível ao processo de lixiviação, por ser altamente solúvel em água e não ser retido pelas cargas negativas do solo (BISSANI et al., 2008). O K por sua vez, possui alta mobilidade no perfil do solo, por possuir apenas uma carga de valência (K^+) e, portanto, pouco adsorvido pelos colóides do solo (ERNANI et al., 2007). Dessa forma, quando estão presentes na solução do solo podem ser carregados junto com a água no sentido descendente no perfil do solo, para profundidades além daquelas alcançadas pelas plantas (OLIVEIRA; VILLAS-BOAS, 2008)

Entretanto, essas perdas podem não ser expressivas em sistemas pastoris bem manejados (TOWNSEND, 2011), pela alta demanda de nutrientes requerida por pastagens pastejadas. O pastejo estimula o rebrote das plantas e com isso, há uma maior absorção de nutrientes prontamente disponíveis pelas excretas, diminuindo assim a possibilidade de perdas deste nutriente. Maxwell et al. (2018), concluíram que plantas de azevém apresentam elevado potencial de redução de lixiviação de NO_3^- , devido sua capacidade de produzir maior quantidade de matéria seca e com isso absorverem maiores quantidades de N. Ainda, em trabalho realizado por Piva (2012), os resultados encontrados sugeriram que em áreas com animais, existe uma maior utilização do N, fato este promovido pela ação de pastejo, o qual demanda mais N para o crescimento da planta, além de estimular o crescimento radicular, e com isso, favorecer uma maior absorção e ciclagem do elemento no sistema.

Atualmente, são poucas as informações referentes a dinâmica dos nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária provindos de pontos de micção de bovinos, manejado sob pastagem. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada e a pressão de pastejo em pastagem de azevém sobre o comportamento dos nutrientes em sítios de deposição de urina bovina em um Latossolo.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em Abelardo Luz, estado de Santa Catarina, sul do Brasil (26° 31'S, 51° 35' W, 850 m de altitude), em uma área de 26 ha conduzida em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), com manejo de plantio direto desde 2012. O histórico de rotação de culturas é apresentado na Tabela 1. Este trabalho considerou o período do inverno de 2016 (azevém cv. Winter Star).

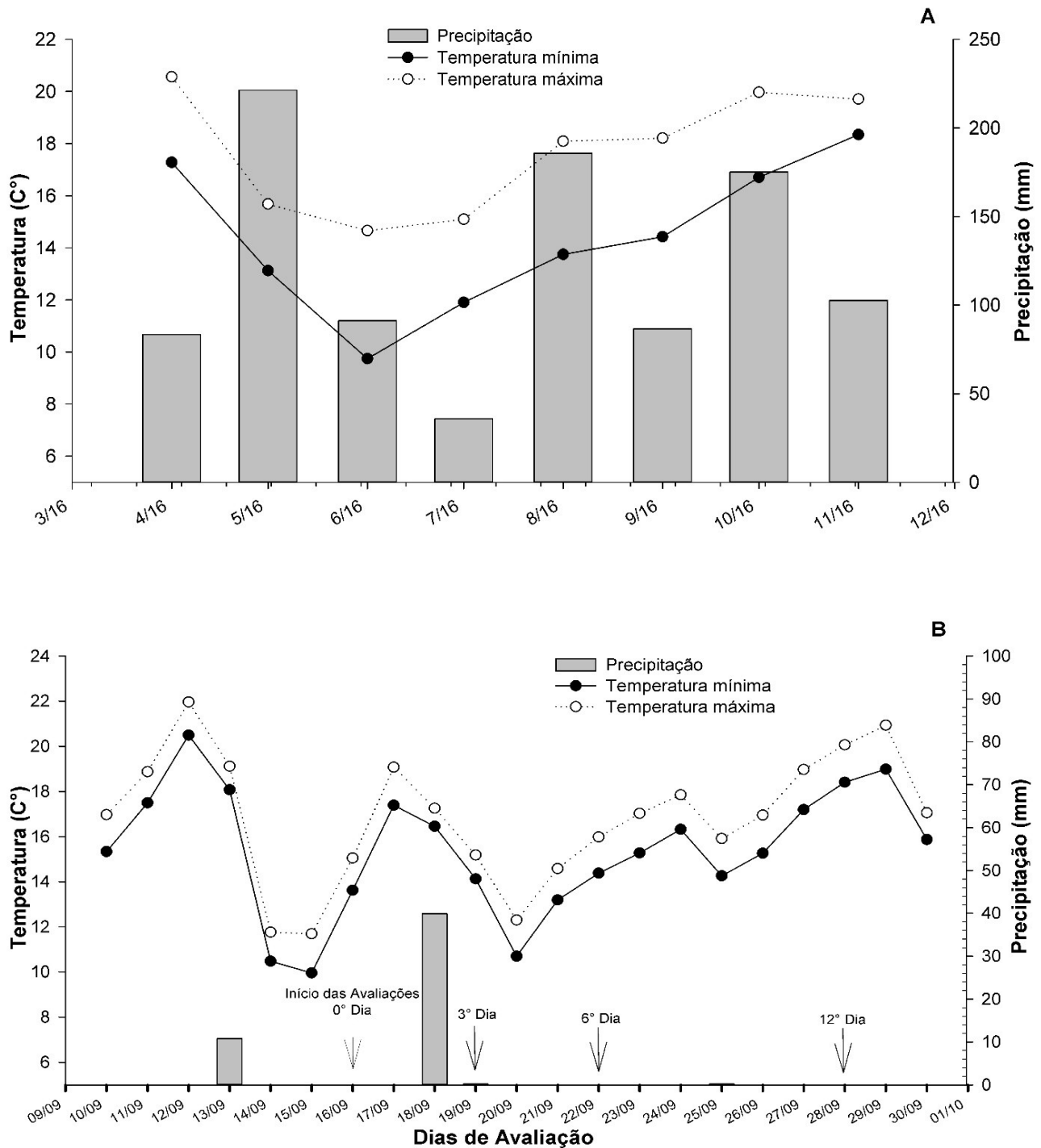
Tabela 1 – Histórico de rotação de culturas no experimento de integração Lavoura-Pecuária de longa duração. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.

Período	Culturas
Verão 2012/2013	Sorgo Forrageiro (<i>Sorghum bicolor</i>)
Inverno 2013	Aveia preta comum (<i>Avena strigosa</i>)
Verão 2013/2014	Milho grãos (<i>Zea mays</i>)
Inverno 2014	Aveia preta (<i>Avena strigosa</i>) + Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2014/2015	Soja (<i>Glycine max</i>)
Inverno 2015	Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2015/2016	Milho para silagem (<i>Zea mays</i> L.)
Verão 2016	Feijão safrinha (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
Inverno 2016	Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> L.)

O solo da área experimental era um Latossolo com textura argilosa (690 g kg⁻¹). A coleta de solo foi realizada em 5 de maio de 2016, antes da semeadura da pastagem, e as propriedades químicas da camada de 0 a 0,2 m de solo foram: pH (CaCl₂) = 4,7 (calagem realizada em 01 de Julho de 2016), matéria orgânica (MO) = 51,7 g dm⁻³, P = 14,4 mg dm⁻³, K = 171,6 mg dm⁻³, Ca = 4,4 cmol (c) dm⁻³, Mg = 2,2 cmol (c) dm⁻³, saturação básica = 49,1% e CTC= 14,2 cmol (c) dm⁻³. E na camada de 0 a 0,4 m: NH₄⁺= 25,34 mg Kg⁻¹ de solo, NO₃⁻= 21,18 mg Kg⁻¹ de solo, N-Mineral= 46,52 mg Kg⁻¹ de solo.

O clima do local é Cfb, subtropical úmido, de acordo com a Classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos durante o período experimental são mostrados na Figura 1.

Figura 1 - Dados meteorológicos durante o período de desenvolvimento da pastagem (A), e dados meteorológicos durante o período de coleta de solo nos pontos de micção (B). Abelardo Luz – SC, Brasil. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



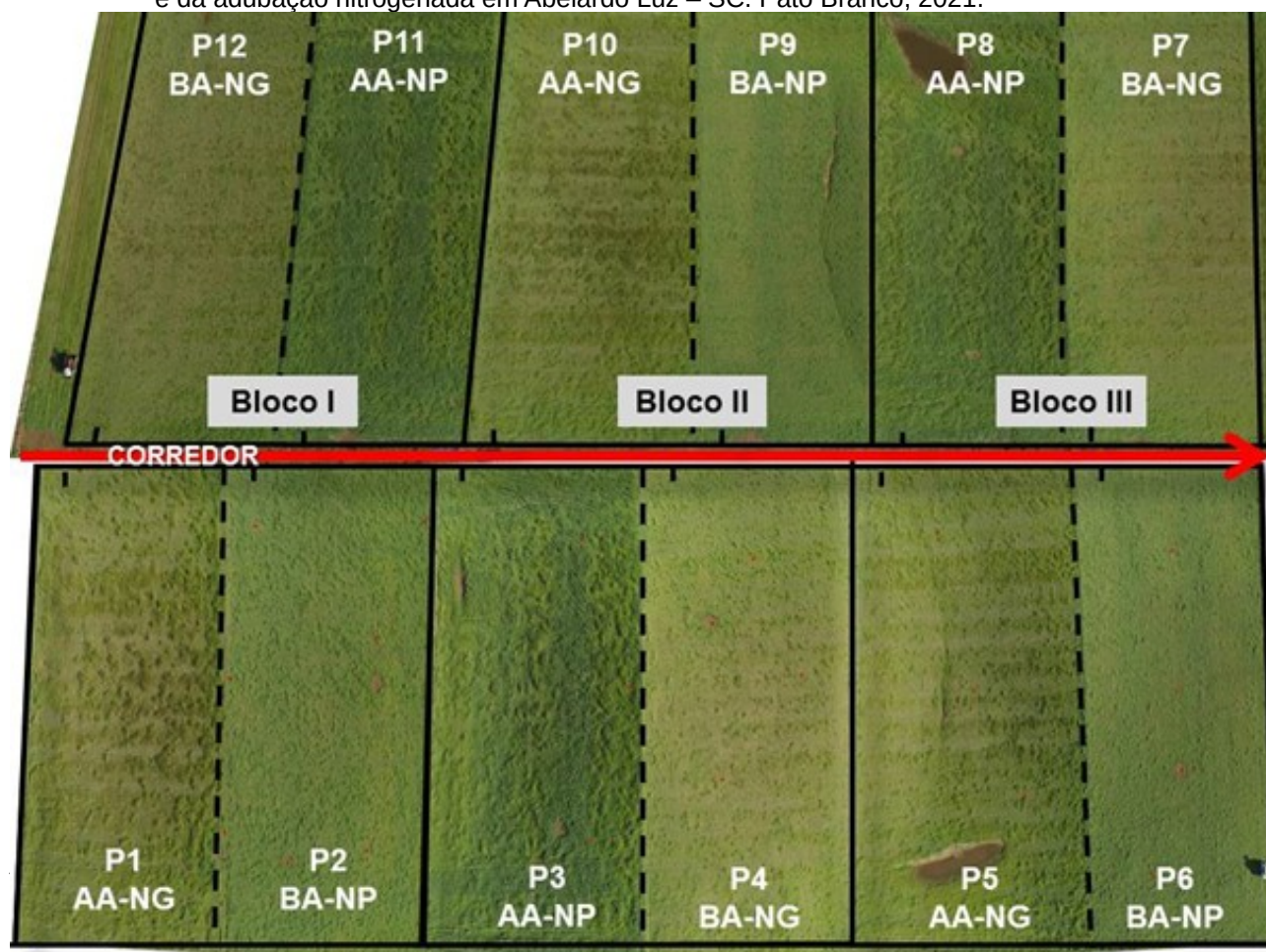
Fonte: INMET, Clevelândia – PR, 2021.

3.2.2 Tratamento e desenho experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2x4x4x4, com três repetições. O primeiro fator foi o tempo de aplicação de

nitrogênio (N) no sistema: N aplicado no pasto (N-Fert. Pastagem), sendo estas as únicas parcelas a receber nitrogênio em cobertura, na dose de 200 kg de N ha⁻¹ (ureia 46% de N) em uma única aplicação nesta fase experimental. As quais foram comparados com as parceladas denominadas de N-Fert. Grãos, que não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo, embora tenham recebido nas culturas anteriores (milho + feijão = 300 kg de N ha⁻¹). O segundo fator foi a altura do pasto, alta altura (AA) e baixa altura (BA), 25 e 10 cm (altura pretendida), respectivamente. O terceiro fator foram os dias após a micção (DAM), que foram realizados no dia 0 (zero), ou seja, imediatamente após a micção, no terceiro (3^o), sexto (6^o) e décimo segundo (12^o) dia após o início da avaliação. O quarto fator foi a distância do ponto central da micção, sendo estes equidistantes: 0 (ponto central da área úmida), 25, 50 e 75 cm do ponto central. E como um quinto fator, as diferentes profundidades ao longo do perfil do solo, 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm.

Figura 2 - Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2021.



3.2.3 Estabelecimento da Pastagem

A semeadura do azevém (*Lolium multiflorum* L.) cv. Winter Star, ocorreu em 12 de maio de 2016, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 17 cm e densidade de semeadura de 25 kg ha⁻¹. Na cultura anterior (verão 2015-2016), a cultura utilizada foi milho (*Zea mays* L.) para produção de silagem e, na segunda safra, o cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris*). A cultura do azevém foi adubada com a aplicação de 400 kg ha⁻¹ da formulação 8-20-20 (NPK), o que representa 32 kg N ha⁻¹, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 80 kg K₂O ha⁻¹ no momento da semeadura, conforme análise do solo e recomendação da Comissão Brasileira de Fertilidade Química e do Solo (CQFS / RS-SC, 2016). A aplicação de ureia ocorreu em 20 de junho de 2016, em cobertura nas parcelas de N-Fert. Pastagem, em dose única de 200 kg N ha⁻¹, 38 dias após a semeadura do azevém.

3.2.4 Manejo da altura da pastagem

As alturas do pasto foram mantidas por meio de pastejo contínuo com taxa de lotação variável seguindo as recomendações de Moot e Lucas (1952). Para verificação da altura do pasto em cada tratamento foi utilizando uma regra graduada para mensurar a mesma, avaliando-se uma vez por semana 40 pontos aleatórios dentro de cada parcela.

A entrada dos animais no pasto foi em 18 de julho de 2016, 67 dias após a semeadura, quando o azevém apresentava altura média de 13 cm em todos os tratamentos, sendo este pastejado até o dia 21 de novembro de 2016. As alturas médias do pasto durante o período experimental foram de 11,7 e 25,1 cm para baixa e alta altura do pasto, respectivamente. Foram utilizados bovinos de corte da raça Charolês e Nelore, com peso vivo médio de 252,6 ±31,8 kg. A taxa de lotação (número de animias por ha⁻¹) variou conforme o tratamento disposto, sendo eles: AA N-Fert.Grãos (2,2), AA N-Fert. Pastagem(2,8), BA N-Fert.Grãos (3,5) e, BA N-Fert. Pastagem (5,4) (BARRIGA, 2019).

3.2.5 Coleta de urina e análise

As coletas de urina foram realizadas seguindo a metodologia de coleta de amostra *spot*, que se dá por micção espontânea dos animais (BEZERRA et al., 2010). A coleta foi realizada no momento da pesagem dos animais, utilizando três animais *testes* (±0,1) 2,8Ba (±0,1) 2,5 (±0,1) NP 3,6Ab (±0,1) 5,4Aa de cada tratamento. Imediatamente após a coleta, as amostras de urina foram filtradas com papel filtro, e acidificadas com 40 ml de ácido sulfúrico (0,036N) em 10 ml de urina (VALADARES et al., 1999), identificadas

e imediatamente congeladas (-20 °C), até serem analisadas.

As amostras de urina resfriadas foram analisadas quanto à concentração total de N, P e K, usando o método de destilação direta de Keeney e Bremner (1966), descrito por Tedesco et al. (1995). A concentração de N, P e K total na urina foi expressa em gramas por litro (g L^{-1}) de urina fresca.

3.2.6 Coleta e análise de solo: Nitrato, Amônio, N-Mineral, Fósforo e Potássio

A coleta de solo teve início no dia 16 de setembro de 2016, após 60 dias do início do pastejo e 88 dias após a aplicação de N. Para a coleta de solo, inicialmente foram observados os animais a campo, identificando três pontos de micção de urina dentro de cada parcela, demarcando o ponto central do sítio de urina (área molhada).

As amostragens de solo foram realizadas com o auxílio de um trado calador, estratificadas nas profundidades, 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. Essa forma de coleta teve por objetivo diminuir a movimentação no ponto central de micção, uma vez que foram realizadas quatro coletas. Após a coleta, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 40/45 °C por aproximadamente 120 horas, moídas em peneiras com malha de 2 mm e conduzidas para análise.

As análises para determinação do Nitrato e Amônio foram efetuadas conforme a metodologia de Bremner e Keeney (1966) pelo método Kjeldahl de destilação de arraste a vapor, utilizando KCl 1M descrita por Tedesco et al. (1995). O N-mineral foi quantificado pela soma do Nitrato e Amônio.

Os teores de P e K disponíveis foram determinados após extração em Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) na proporção solo: extrator 1:10 seguido de agitação por 15 minutos e decantação por 16 horas. O fósforo foi determinado por espectroscopia de absorção molecular do azul de molibdênio, formado na reação entre os íons ortofosfato (PO_4^{3-}) com o molibdato (MoO_4^{2-}) em meio fortemente ácido, e o Potássio foi determinado por fotometria de chama, usando uma alíquota filtrada do extrato obtido, conforme procedimentos descritos por Pavan (1992).

3.2.7 Análise estatística

Após a verificação do atendimento aos pressupostos da análise de variância, os dados de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância considerando o

modelo matemático do esquema fatorial (2x2x4x4x4), com três repetições no delineamento blocos ao acaso ($\alpha= 5\%$). As interações triplas significativas entre dois fatores quantitativos quaisquer (Dias após a micção/distância do ponto central da micção) e um fator qualitativo (altura do pasto ou tempo de aplicação de nitrogênio ou profundidades do solo) foram desdobradas por meio de superfície de resposta dos fatores quantitativos dentro de cada nível do fator qualitativo. Interações entre fatores qualitativos foram desdobradas por meio da comparação de um fator dentro do outro usando o teste de Tukey ($\alpha= 5\%$). Este mesmo teste também foi utilizado para comparar os efeitos principais significativos dos fatores qualitativos. Todas as análises foram realizadas no software estatístico Statgraphics.

3.3 Resultados e Discussões

3.3.1 Caracterização química da urina

Na caracterização química da urina dos animais, constatou-se maior concentração de N na urina proveniente do tratamento N-Fert. Pastagem (13,8 g N L⁻¹), o que já era esperado, devido a aplicação de 200 kg de N ha⁻¹ nestas parcelas (Tabela 2). A aplicação de N em pastagem aumenta o teor de proteína na dieta animal, fazendo com que ocorra maior excreção de N, principalmente via urina.

Tabela 2- Concentração de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) contido na urina de bovinos alimentados com Azevém, em função do tempo de adubação nitrogenada. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.

Tempo De Aplicação De Nitrogênio	N (g L⁻¹ De Urina) <i>P= 0,0084</i>	P (g L⁻¹ De Urina) <i>P= 0,3984</i>	K (g L⁻¹ De Urina) <i>P= 0,0029</i>
N-Fert. Grãos	8,55 ^B (±1,53)	1,03 ^A (±0,27)	20,2 ^B (±1,32)
N-Fert. Pastagem	13,8 ^A (±1,53)	0,71 ^A (±0,27)	26,2 ^A (±1,32)
Média	11,17	0,87	23,2

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey. Abreviações: N-Fert. Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grãos, N-Fert. Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem.

O teor de potássio excretado via urina também foi influenciado pela aplicação de nitrogênio, sendo que a aplicação de N na pastagem (N-Fert. Pastagem), apresentou 26,2 g K L⁻¹ de urina, enquanto animais alimentados com pastagem que receberam N na cultura antecessora (N-Fert. Grãos), apresentaram 20,2 g K L⁻¹ de urina. Assim como aconteceu para o nitrogênio, a adubação nitrogenada na fase pastagem aumentou a demanda das plantas por outros nutrientes, fazendo com que ocorresse

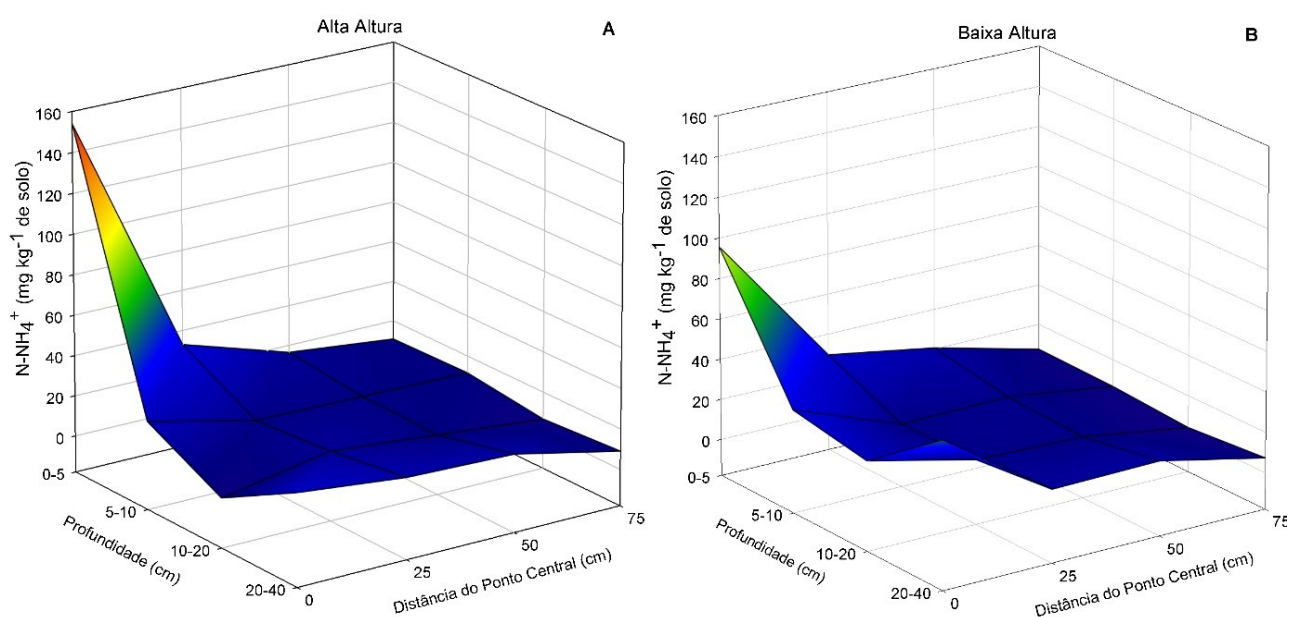
maior retorno também de potássio via urina. De acordo com Wilkinson et al. (2000), geralmente, o aumento da oferta de N aumenta a absorção e concentração de K na planta devido aos maiores rendimentos de MS.

O teor de fósforo na urina não apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados, representando 0,71 g P L⁻¹ no tratamento N-Fert. Pastagem e 1,03 g P L⁻¹ no tratamento N. Fert-Grãos. Estes valores são superiores aos encontrados na literatura. Safley et al. (1984) e Rodrigues et al. (2008), encontraram teores de P excretado via urina, de 0,2 g L⁻¹ e 0,24 g L⁻¹, respectivamente. Esse resultado possivelmente seja efeito da qualidade da forragem consumida pelos animais no momento desta avaliação (60 dias após a entrada dos animais), uma vez que se encontravam em pleno desenvolvimento vegetativo.

3.3.2 Comportamento do amônio e nitrato no solo em pontos de deposição de urina

No solo a maior concentração de amônio (N-NH₄⁺) ocorreu em pastagem manejadas em menor pressão de pastejo (alta altura= 154,2 mg kg⁻¹ de solo), em relação as plantas conduzidas em alta pressão de pastejo (baixa altura= 95,7 mg kg⁻¹ de solo). Esse efeito é verificado nas primeiras camadas de solo (0-5 e 5-10 cm), e até à distância de 25 cm do ponto central de micção (Figura 3).

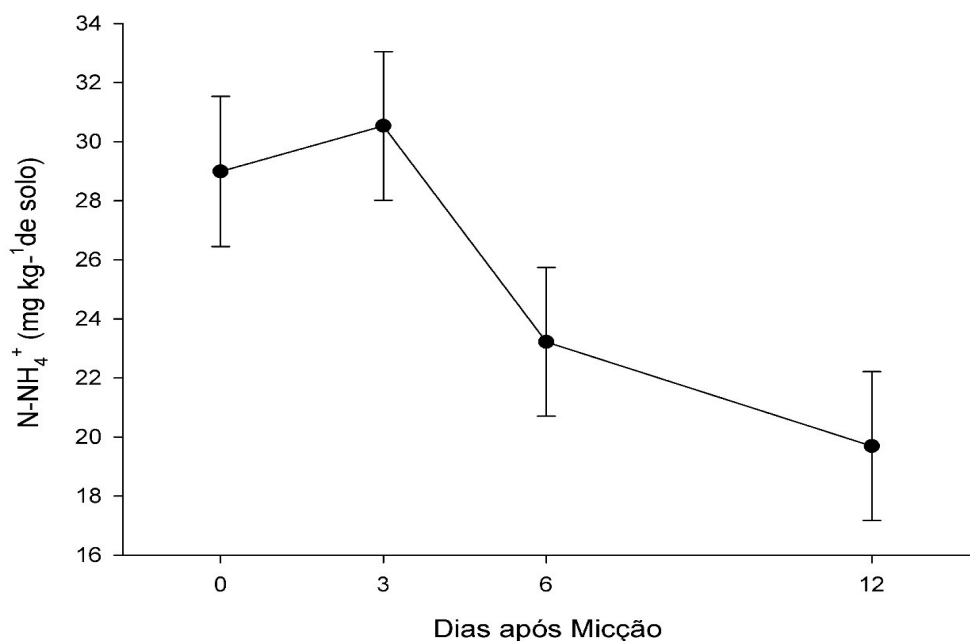
Figura 3 - Concentração de amônio (N-NH₄⁺ mg kg⁻¹; p= 0,0161) no solo, após a micção de urina, em pastagem de azevém conduzida em alta altura(a) e em baixa altura(b), em função da profundidade de solo e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



O comportamento do amônio em relação aos dias de coleta é verificado na

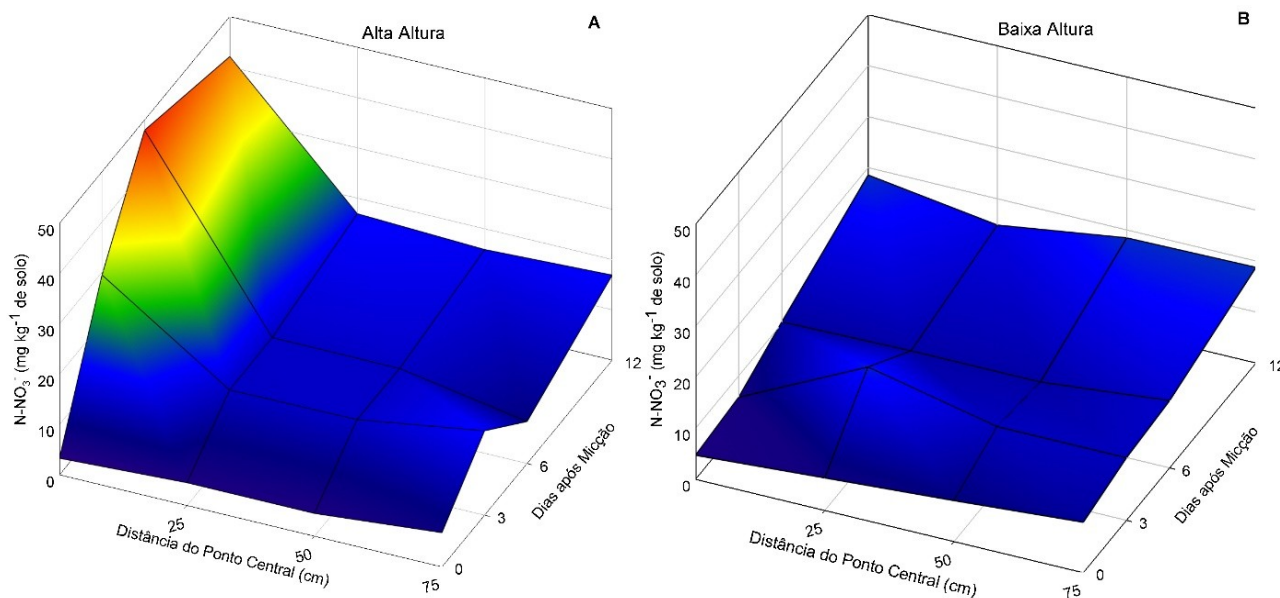
figura 4. A partir do terceiro dia após a micção, ocorre uma significativa diminuição nos teores de N-NH_4^+ , passando de $30,5 \text{ mg kg}^{-1}$, para $23,3$ e $19,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, no sexto e décimo segundo dia, respectivamente. Esse resultado possivelmente esteja relacionado ao processo de nitrificação, sendo observado esse efeito no aumento na concentração de nitrato no solo (Figura 4).

Figura 4 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $p=0,0078$) no solo ao longo do tempo, após a micção de urina de bovinos em pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média $\pm 2,52$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



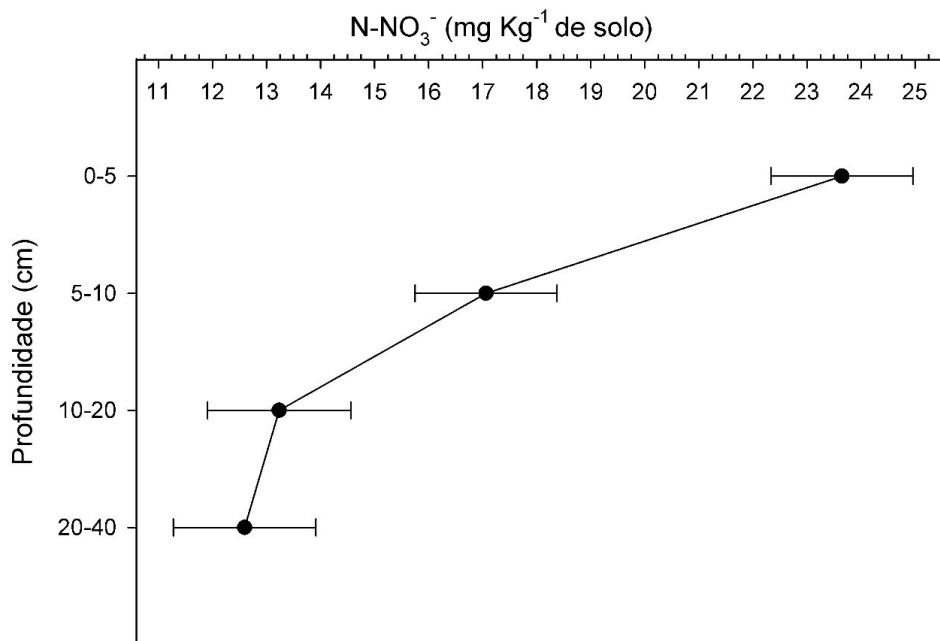
Da mesma forma que o amônio, a concentração de nitrato (N-NO_3^-) foi maior nas parcelas em que o azevém foi sujeito a uma menor pressão de pastejo e assim mantido a uma maior altura de pasto (AA), quando comparado com as parcelas conduzidas em menor altura de pasto, conforme verifica-se na Figura 5. Essa diferença entre o manejo da pastagem é evidenciada a partir do terceiro dia de avaliação, possivelmente devido a transformação do N-NH_4^+ (amônio) em N-NO_3^- (nitrato), figura 4. Posteriormente, há uma estabilização de teor de nitrato indicando que a transformação da ureia ($\text{CO (NH}_2)_2$) em N-NO_3^- no solo ocorre essencialmente na primeira semana após a micção de urina. Este efeito é verificado somente até a distância de 25 cm do ponto central de micção, não apresentando alterações significativas nos demais pontos. No tratamento onde as plantas de azevém foram conduzidas em baixa altura de pasto, não ocorre alterações nos valores de N-NO_3^- no decorrer do tempo e nem em relação à distância de coleta (Figura 5B).

Figura 5- Concentração de nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p= 0,0105$) no solo, em pastagem de azevém conduzida em alta altura(A) e em baixa altura(B), em função dos dias após a micção e distâncias do ponto central de micção, em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



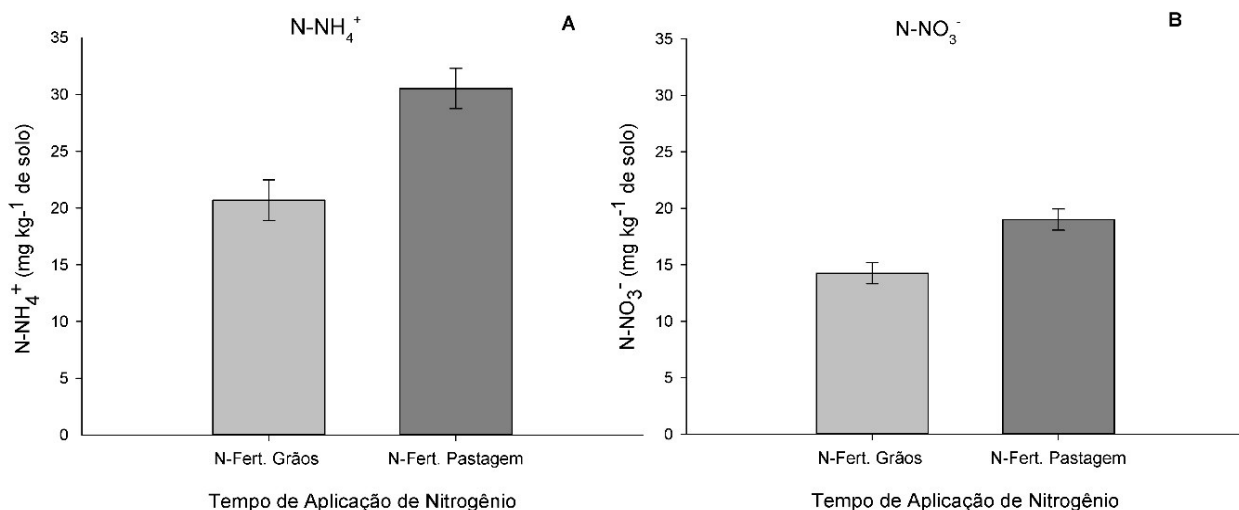
Além disso, foram observadas diferenças significativas do teor de N-NO_3^- nas diferentes profundidades de solo ($p=0,0000$). Observa-se, na figura 6, que nas camadas superficiais (0-5; 5-10cm) há maior concentração de N-NO_3^- (23,7; 17,1 mg kg^{-1} , respectivamente), diminuindo ao longo do perfil do solo.

Figura 6- Concentração de nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) no solo, em diferentes profundidades de solo em sítios de urina de bovinos em pastagem de azevém, em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média $\pm 1,32$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



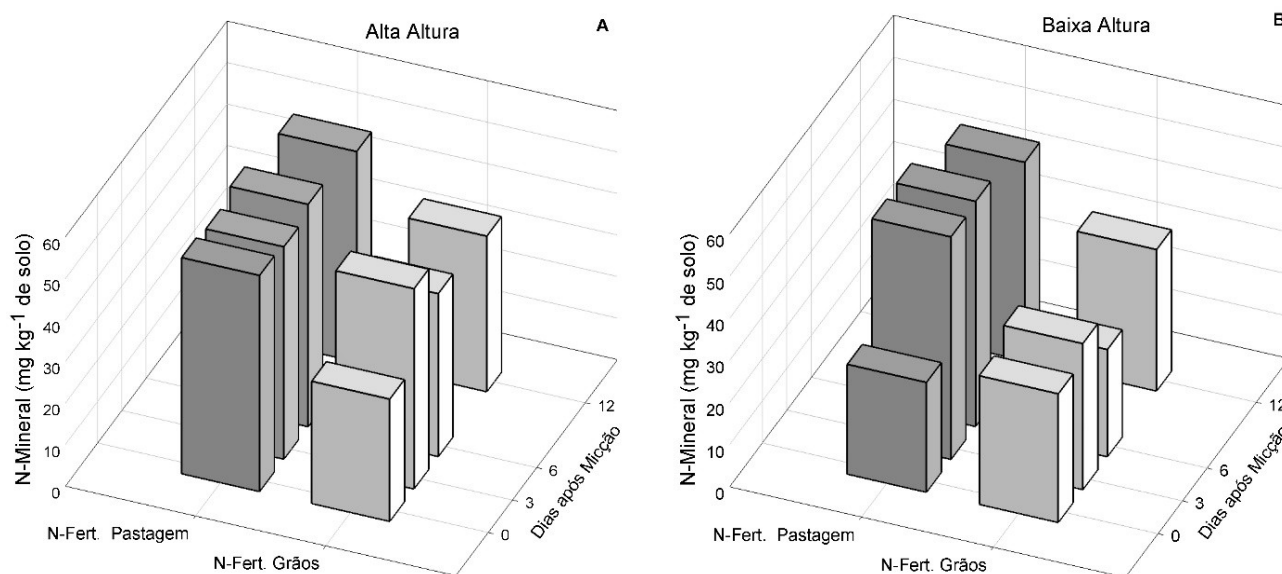
A aplicação de nitrogênio na fase pastagem (N-Fert. Pastagem), resultou em maiores teores de nitrogênio nos pontos de urina, tanto na forma de N-NH_4^+ como na forma de N-NO_3^- (Figura 7), e conseqüentemente nos teores de N-Mineral (Figura 8). Nas parcelas que receberam nitrogênio na fase de pastagem, os valores de amônio e nitrato mantiveram-se entre 30,5 e 19,1 mg kg^{-1} de solo, respectivamente.

Figura 7 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $p=0,0001$) (a) e nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p=0,0003$) (b) no solo, após a micção de urina, em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\text{N-NH}_4^+ \pm 1,78$; $\text{N-NO}_3^- \pm 0,93$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021



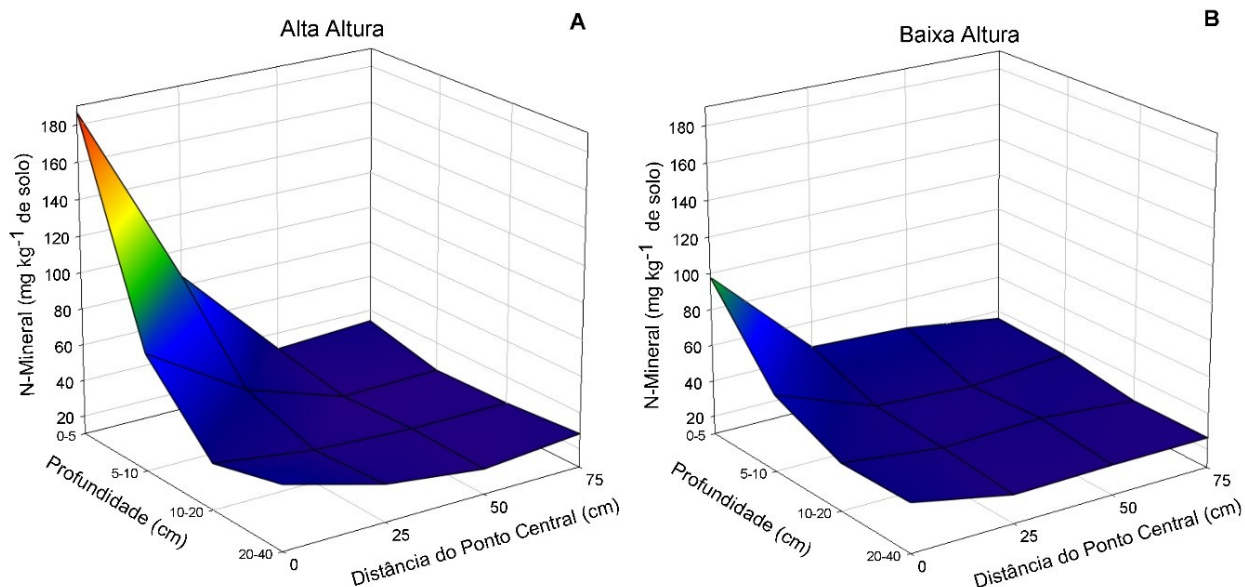
O N-Mineral, apresentou maiores valores quando as plantas foram conduzidas em alta altura de pasto e com a aplicação de N na fase pastagem (Figura 8). Verifica-se que o tratamento N-Fert. Pastagem em alta altura, no início da avaliação (dia zero), possui uma quantidade de N-mineral no solo ($52,04 \text{ mg kg}^{-1}$) significativamente maior, em relação ao tratamento N-Fert. Pastagem em baixa altura ($26,07 \text{ mg kg}^{-1}$). Esses valores aumentam no decorrer do tempo e diminuem no décimo segundo dia de avaliação. O N-Fert. Grãos apresenta teores menores de N-Mineral no solo em comparação N-Fert. Pastagem, em ambas as alturas de pasto.

Figura 8 - Concentração de N-Mineral (mg kg^{-1} de solo; $p=0,0465$) em pastagem de azevém conduzida em alta altura (A) e em baixa altura (B), em função da aplicação de nitrogênio e dias após a micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Conforme observa-se na Figura 9, a somatória dos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ (N-Mineral), constatou-se que o efeito do manejo da pressão de pastejo prevaleceu, sendo que nas parcelas manejadas em alta altura de pastejo, os valores de N-Mineral, nas profundidades de 0-5 a 5-10 são significativamente maiores, $186,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (0-5 cm) e $74,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (5-10 cm), em relação aos encontrados em plantas conduzidas em baixa altura pasto, $97,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (0-5 cm) e $52,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (5-10 cm). Esse efeito, é verificado até a distância de 25 cm, no tratamento conduzido em alta altura e apenas no ponto central (0 cm), para plantas conduzidas em baixa altura. Nas demais profundidades e distâncias avaliadas, não se observa alterações nos teores de N-mineral.

Figura 9- Concentrações de N-Mineral (mg kg^{-1} de solo; $p=0,0019$) em pastagem de azevém conduzida em alta altura (A) e em baixa altura (B), em função da profundidade de solo e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Neste estudo, os valores de N-NH_4^+ foram superiores a 150 mg kg^{-1} de solo, no manejo de plantas conduzidas em alta altura de pasto (Figura 3 A). Esta alta concentração do amônio no solo é resultado da hidrólise da ureia derivada da urina (BRISTOW et al., 1992). Como a hidrólise da ureia é geralmente rápida, com 80 a 90% da ureia sendo hidrolisada em até 48 horas, a concentração resultante de N-NH_4^+ no solo afetado pela urina pode ser inicialmente alta (WILLIAMS; HAYNES, 1994) com concentração de N-NH_4^+ superiores a $200 \text{ mg N kg de solo}^{-1}$ (HAYNES; WILLIAMS, 1992).

O N-NH_4^+ disponível no solo, pode seguir vários caminhos, como: i) ser absorvido por plantas de pastagem; ii) ser imobilizado por microrganismos do solo; e/ou, iii) ser oxidado em N-NO_3^- (MYERS et al., 1994). Este último processo explica o aumento observado nas concentrações de N-NO_3^- no solo a partir do terceiro dia de avaliação (Figura 4a), concomitante à diminuição nos teores de N-NH_4^+ (Figura 3). O N-NO_3^- por sua vez, também pode seguir vários caminhos, como: i) ser absorvido por plantas de pastagem; ii) ser imobilizado por microrganismos do solo e/ou, iii) permanecer na solução do solo, podendo ser perdido do sistema pelo processo de lixiviação (MYERS et al., 1994). Essas mudanças são dependentes de diversos fatores ambientais e de solo, que serão discutidos na sequência.

Maior concentração de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-mineral foram observados na camada superficial do solo (0-5 e 5-10 cm), quando comparada às camadas mais profundas do solo (10-20 e 20-40 cm; Figuras 3, 6 e 9), o que pode ser um indicativo de ausência de lixiviação de N nestas formas químicas. O N-NH_4^+ por ser um íon de carga

elétrica positiva, pode ficar adsorvido às partículas coloidais do solo, principalmente em partículas de argila (690 g kg^{-1} neste solo em estudo) que são carregadas negativamente em sua periferia e assim, ser mantido no solo, diminuindo a possibilidade de perdas pelo processo de lixiviação (OSAKI, 1991).

Além disso, o alto teor de matéria orgânica ($51,7 \text{ g dm}^{-3}$), favorece o aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo, contribuindo para a adsorção de N-NH_4^+ as cargas negativas do solo (CIOTTA et al., 2003). Por outro lado, o N-NO_3^- (ion negativo), é repelido pelas cargas negativas da maioria dos solos, o que pode elevar a possibilidade de perdas desta forma química (RAJI, 1991; MANTOVANI et al., 2007; BISSANI et al., 2008). No entanto, neste trabalho não é verificado aumento nos teores de NO_3^- no perfil do solo (Figura 6). Possivelmente, este resultado esteja relacionado, entre outros fatores, às características intrínsecas ao solo, como, textura e estrutura. Uma vez que a quantidade de N lixiviado é dependente da concentração de N-NO_3^- na solução do solo e do volume de água drenada através do perfil do solo, essas duas características em solos argilosos, refletem em maior capacidade de retenção de água e de nutrientes (MYERS et al., 1994; FINCH et al., 2014), diminuindo assim a possibilidade de perdas pelo processo de lixiviação.

Outro fator importante na dinâmica do N em manchas de urina, está relacionado com a umidade do solo no momento da avaliação (Figura 1B). Neste estudo as condições de solo seco, possivelmente a área molhada pela deposição de urina, manteve-se somente nas primeiras camadas de solo (0-10cm), onde verifica-se aumento nos teores de N. Condições de solo seco, com grande número de poros vazios, ocorre uma menor infiltração em profundidade, ao contrário ocorre em solos mais úmidos, onde a infiltração pode chegar até maiores profundidades (LI et al., 2012), o que poderia contribuir para a lixiviação de nutrientes. Portanto, a precipitação de 39 mm (Figura 1B), ocorrida no segundo dia após o início da avaliação, possivelmente não foi suficiente para levar esse nutriente para maiores profundidades, mantendo o N-urina nas primeiras camadas do solo.

A maior concentração N nas camadas superficiais do solo, encontrado neste trabalho (Figura 3, 6 e 9), é uma importante fonte de nutrientes para as plantas, sendo a região de maior atuação das raízes destas forrageiras. Neste sentido, Dunbabin et al. (2003), sugerem que a alta densidade de enraizamento no solo é importante para reduzir as taxas de lixiviação de N-NO_3^- em solos com textura grossa e mostra, a capacidade de arquiteturas radiculares muito ramificadas de esgotar rapidamente o N-NO_3^- da zona de mineralização da superfície. Assim, em solos argilosos, com maior capacidade de

retenção de água e fluxo menos dinâmico de água e nutrientes, um sistema de enraizamento altamente ramificado e denso, como é o caso do azevém, provavelmente maximiza a captura e utilização desse nutriente.

Sistemas conduzidos com maior pressão de pastejo (BA), possuem maior quantidades de pontos de urina, pela maior carga animal na área o que poderia provocar um aumento na lixiviação de nitrogênio. Entretanto, menores teores de N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-mineral, foram encontrados nessas parcelas. Esse resultado pode ser decorrente da maior extração de N pelas plantas forrageiras, à medida que a desfolha é maior e é necessário repor seu aparato fotossintético; pela maior exportação de nutrientes pelo animal, apesar de ser valores relativamente baixos em comparação a culturas de grãos, e; pelas maiores perdas de N, via processo de volatilização e desnitrificação nos pontos de deposição de urina.

Estudos sob áreas de manchas de urina, demonstram que a redução das perdas de N do solo em áreas de pastagens, estejam relacionados com a demanda das plantas por N para fim de crescimento e assim, reduzem o risco de lixiviação de nitratos (MONAGHAN et al., 2013; MALCOLM et al., 2014). De acordo com Woods et al. (2017), as plantas de azevém oferecem benefícios na redução das perdas por lixiviação do N contido na urina pela sua alta capacidade de absorção. Em estudo realizados por Snow e White (2013), em diferentes ambientes simulados, a estratégia mais eficaz para aumentar o rendimento de forragem e reduzir a lixiviação de nitrogênio, foi a capacidade de a planta interceptar a radiação em uma baixa massa de forragem, e assim, capturar mais nutrientes.

Ademais, as plantas de azevém utilizadas neste estudo, podem agir de forma positiva na extração e absorção de nutrientes. Deste modo, no momento desta avaliação, as plantas encontravam-se em pleno desenvolvimento vegetativo (60 dias após o início de pastejo), com condições ambientais ideais para crescimento (Figura 01A), sendo submetidas a pastejo intenso e frequente, com alta carga animal ($1.408 \text{ kg PV ha}^{-1}$ no tratamento BA), fazendo com que ocorresse grande quantidade de extração de N para reposição de área foliar, com produção total de forragem de $16.258 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ (média entre os tratamentos que receberam N na fase pastagem). Portanto, as perdas de nitratos podem ser baixas ou inexistentes se a disponibilidade de N-urina coincidir com a demanda de absorção da planta.

Ainda a deposição de urina, por conter alto teor de N na sua composição, altera toda a dinâmica da microbiota do solo. Esta deposição estimula a atividade de bactérias nitrificadoras e desnitrificadoras devido ao incremento de N (ORWIN et al.,

2010). A urina também fornece outros recursos, como água, enxofre e carbono lábil, os quais estimulam a atividade microbiana e a biomassa em geral (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Portanto, assim como as plantas, os microrganismos do solo podem atuar no sentido de reduzir as perdas de N, utilizando o nitrogênio disponível para crescimento, imobilizando-o temporariamente. De acordo com (HOLLAND; DURING, 1977), após a deposição de urina, ocorre um aumento no fluxo da atividade microbiana do solo, causando inicialmente imobilização, entretanto devido à baixa relação C: N de 2:1 da urina, rapidamente ocorre o processo de mineralizada (SIEBEL et al., 2015), visto que esses dois processos (mineralização e imobilização) ocorrem simultaneamente no solo (MYERS et al., 1994).

As perdas de N, pelo processo de volatilização e/ou desnitrificação em pontos de urina, tem sido objeto de vários estudos, dos quais demonstram que esses fatores são muito influenciados pelo manejo de solo e pelas questões ambientais (BARNEZE et al., 2014; LESSA et al., 2014; PIVA et al., 2014). Oenema et al. (1997), estimaram que entre 0,1 e 3,8% do N-urina é emitido para a atmosfera na forma de N_2O . Portanto, essas perdas podem ter influenciado na menor disponibilidade de N em áreas conduzidas com maior intensidade de pastejo, uma vez que nessas áreas o número de micções é maior pelo maior número de animais na área.

Outro fator importante e que influencia diretamente nos teores e na dinâmica do N no solo é a adubação nitrogenada realizada na fase pastagem. Neste trabalho constata-se, que pastagens adubadas aumentam a excreta de N na urina dos animais (Tabela 2), e conseqüentemente ocorre maior concentração de $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ e N-mineral neste tratamento. A concentração de N-urina é fator ligado diretamente a nutrição que o animal está recebendo, desta forma pastagem que recebem adubação nitrogenada aumentam o teor de proteína (LUPATINI et al., 1998), e por conseqüência aumentam a excreta de N na urina dos animais.

Isso pode ser confirmado em trabalho realizado por Barriga (2019), neste mesmo ano e experimento avaliando a produção animal, onde constatou-se que os valores de Proteína Bruta do tratamento N-Fert. Pastagem foram superiores, $25,6 (\pm 0,51) g 100g^{-1}$, quando comparado com o tratamento N-Fert. Grãos, $21,6 (\pm 0,51) g 100g^{-1}$. Bovinos de corte excretam cerca de 90 a 95% do N que consomem (WHITEHEAD, 2000). Na urina, cerca de 70% do N está na forma de ureia, e quando em contato com o solo é rapidamente hidrolisado, e transformado em amônio e nitrato pelo processo de nitrificação (WHITEHEAD, 2000).

Outro resultado importante verificado neste estudo foi as alterações nas

concentrações de N verificadas até a distância de 25 cm do ponto central de micção (Figuras 3, 5 e 9), podendo-se presumir que esta área é afetada pelo N provinda da urina. A área efetiva de uma mancha de urina pode ser definida como a área onde a urina é diretamente adicionada ao solo, somada a área imediatamente fora da área molhada, mas que as plantas podem capturar o N-urinário através da extensão das raízes ou pela própria difusão do N pelo solo (SIEBEL et al., 2015). De acordo com estes mesmos autores realizando uma metanálise de vários trabalhos, foi estimado que a área efetiva varie de 0,03 a 1,1 m² para bovinos, com uma média de 0,68 m². Essa grande variação na área de superfície afetado por um ponto de micção de urina é decorrente da umidade do solo, declive do terreno, cobertura vegetal, condições ambientais e de física de solo (WILLIAMS; HAYNES, 1994; SIEBEL et al., 2015). Neste estudo, portanto, considerando um raio de 25 cm, tem-se uma área efetiva de 0,197 m² ou 1.972 cm². Ainda, tomando como base o efeito verificado em um raio de 25 cm do ponto central da micção, temos um diâmetro de 50 cm de área molhada, este resultado corrobora com os apresentados por Haynes e Williams (1993), onde a área molhada por um evento de micção varia entre 45 a 80 cm de diâmetro, o que equivale a uma área de 1600 a 4900 cm².

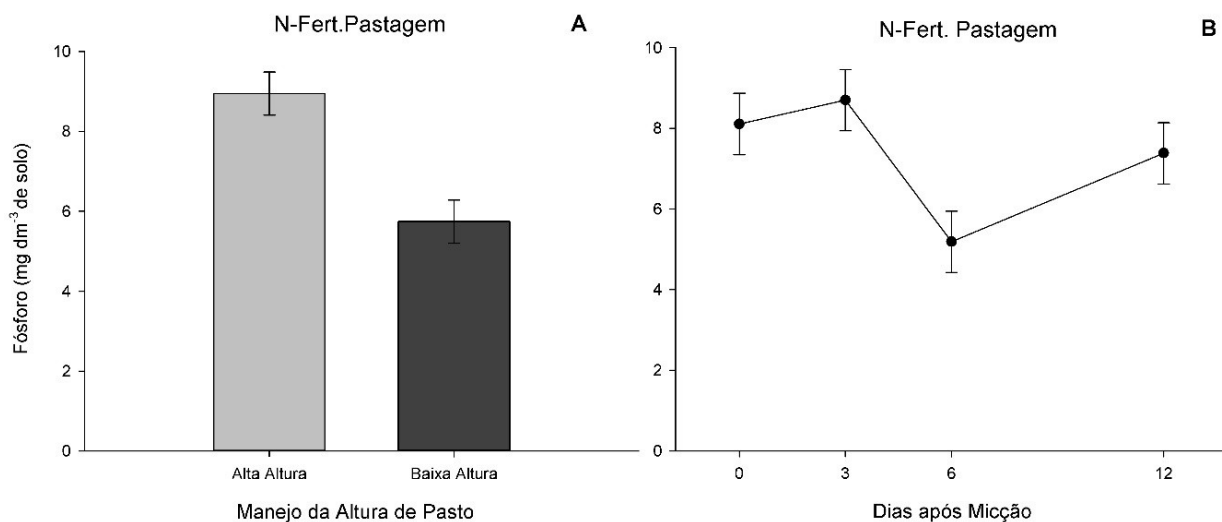
A quantidade de N depositada no solo em um ponto de urina, é resultado da concentração de N e do volume de urina excretado e da área de superfície que recebe urina (SIEBEL et al., 2015). Assim, considerando um volume médio de micção de 1,9 L (HAYNES; WILLIAMS, 1993), área de superfície de 0,197 m², e concentração de N na urina de 13,8 e 8,55 g L⁻¹ (Tabela 02), no tratamento que recebeu adubação nitrogenada na pastagem (N-Fert. Pastagem) e o que não recebeu (N-Fert. Grãos), tem-se, 1.331 e 824,9 Kg de N ha⁻¹, respectivamente. De acordo com Oenema et al. (1997), a quantidade de N aplicada através das excretas de bovinos pode atingir até 2.000 kg N ha⁻¹, podendo ocorrer grandes variações nas concentrações de N-urina, em função da dieta a qual o animal está submetido.

3.3.3 Comportamento do Fósforo no solo em pontos de deposição de urina

Constatou-se a influência da interação tripla tempo de N x altura de pasto x dias após micção (p=0,0230). Nas parcelas N-grãos, ou seja, que não receberam N durante o período de pastejo não se constatou efeito dos outros dois fatores (altura de pasto e dias após micção) sendo que o valor médio de P no solo observado nessas parcelas foi de (6,73 mg dm⁻³). Já para as parcelas que receberam aplicação de adubação

nitrogenada na pastagem (N-Fert Pastagem) observou-se efeito isolado do fator altura de pasto (Figura 10 A) e do fator dias após micção (Figura 10B).

Figura 10- Concentração de Fósforo (mg dm^{-3}) em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Diferença estatística apenas para N-Fert. Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média (manejo da altura de Pasto ($p=0,0000$) $\pm 0,537$; Dias após Micção ($p=0,0071$) $\pm 0,759$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Áreas de pastagens manejadas em alta altura de pasto ($8,9 \text{ mg dm}^{-3}$) e que receberam adubação nitrogenada ($200 \text{ Kg de N ha}^{-1}$) apresentaram maior teor de fósforo no solo em relação a áreas conduzidas em baixa altura ($5,7 \text{ mg dm}^{-3}$) e que também receberam N. Possivelmente, plantas manejadas em condições de menor pressão de pastejo e mantidas em alta altura tendem a requerer menos nutriente para repor seu aparato fotossintético, absorvendo menor quantidade de nutrientes, o que aumentaria sua disponibilidade no solo. Por outro lado, plantas conduzidas em baixa altura, devido uma carga animal superior tende a extrair mais nutrientes do solo, esse mesmo resultado também foi verificado para nitrogênio.

Ademais, áreas conduzidas em baixa altura possibilitam manter um número de animais superior (Carga animal = AA NP 1.147 e AA NG $1.728 \text{ kg PV ha}^{-1}$) (BARRIGA, 2019). Esse fato reflete em maior número de placas fecais na área, uma vez que o P é retornado basicamente via fezes (95%) (HAYNES; WILIAMS, 1993). O P, portanto, permaneceria imobilizado até a decomposição desse material, e que possivelmente estaria disponível na cultura subsequente.

Tomando como base que um animal defeca em média 10 vezes por dia (HAYNES; WILIAMS, 1993), com 5,4 e 3,6 animais por ha^{-1} , em BA e AA (N-Fert. Pastagem), respectivamente (BARRIGA, 2019) e que no momento desta avaliação haviam se passado 60 dias do início do período pastejo, temos um total de 3.240 e 2.160

placas de fezes, respectivamente em cada tratamento. De acordo dados apresentados por Gonsalves Neto e Carvalho (2010), o período de desintegração de uma placa de fezes pode variar muito, de um a 231 dias, sendo que metade delas (49,3%) desintegra-se em até 30 dias. Neste contexto, uma quantidade considerável de P permaneceria imobilizado nessas placas até sua decomposição e mineralização, diminuindo a sua disponibilidade em áreas com maior intensidade de pastejo, neste caso o tratamento baixo altura.

A adição de urina no sistema, por sua vez, afeta de forma positiva na disponibilidade de P, por intensificar a atividade microbiana. Apesar de a urina não contribuir de forma efetiva em quantidades de fósforo, a mesma fornece grande quantidade de N (Tabela 2), e outros substratos (água, enxofre e carbono lábil (HAYNES; WILLIAMS, 1993), que servem de energia para a biomassa microbiana do solo, da qual podem solubilizar e disponibilizar maior quantidade de P ao sistema. De acordo com Marklein e Houlton (2012) e Heuck et al. (2018), a adição de N aumenta a atividade das enzimas fosfatases, que são responsáveis pela transformação de P orgânico em inorgânico e, essas enzimas são liberadas por plantas e microrganismos (OLANDER; VITOUSEK, 2000; SINSABAUGH et al., 2008).

Ademais, incrementos importantes no teor de MO no solo também foram verificados neste experimento, de 45,10 g dm⁻³ (2012) para 54,95 g dm⁻³ (2017), esse dado é importante, visto que a biomassa microbiana do solo consome resíduos orgânicos para adquirir carbono, energia, elétrons e nutrientes, propiciando a ciclagem de nutrientes (SMECK, 1985; NEVES, 1992), inclusive o fósforo.

Vários estudos têm demonstrado a importância do manejo adequando do solo e como isso interfere na dinâmica dos nutrientes. Neste sentido, Fraga e Salcedo (2004), destacam a importância de manter o P na forma orgânica, já que a mineralização acelerada passaria o P de formas lábeis para formas menos disponíveis (adsorção aos coloides do solo). Assmann (2013), verificou que a liberação de nutrientes do esterco de bovinos em área de ILP é maior quando comparado a gramíneas, pelo fato, deste material já ter sofrido uma pré-decomposição no rúmen animal e, portanto, esses nutrientes entrariam novamente no sistema em formas mais solúveis. Neste contexto, o P estaria mais sujeito a fixação aos coloides do solo.

Corroborando a este resultado, Souza et al. (2010), avaliando diferentes intensidades de pastejo em ILP, concluiu que a alta intensidade de pastejo (baixa altura da pastagem, 10 cm) pode provocar redução no C, no N e no P da biomassa microbiana e aumentar a respiração microbiana do solo. Os autores ressaltam que estes resultados

foram obtidos em condições de estresse hídrico. Assmann et al. (2017), avaliando diferentes intensidades de pastejo, com alturas de pastos mantidas em 10, 20, 30 e 40 cm, constataram que intensidades de pastejo mais leves resultaram em maior taxa de liberação de P da pastagem e resíduos de esterco.

Este resultado ressalta a importância da adição constante de resíduos vegetais ao sistema ILP que é potencializado pela adubação nitrogenada, aumentando o estoque de carbono no solo, e conseqüentemente da atividade microbiológica. Neste estudo, não houve diferença estatística na produção de forragem entre os manejos de alta e baixa altura, dos quais apresentaram, 18.471 e 14.045 kg ha⁻¹, respectivamente. Essa combinação de fatores possivelmente promove um incremento no P orgânico, resultando em maior disponibilidade de P para as plantas. De acordo com Conte (2002), em sistema de plantio direto (SSP) a entrada constante de resíduos culturais e maior atividade microbiana nas camadas superficiais do solo, podem ser fonte potencial de fósforo as plantas, já que a biomassa de microrganismos forma estoque de fósforo microbiano e não é adsorvido aos colóides do solo.

A disponibilidade de P também foi afetada pelos dias de coleta, sendo verificada menor concentração de P no solo no sexto dia após o evento de micção (Figura 9B). Para este resultado não foi encontrada uma explicação plausível. A umidade do solo e a temperatura são fatores que interferem diretamente na atividade biológica do solo, e isso reflete na dinâmica de disponibilidade de nutrientes (COTTA, 2016; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Entretanto, ao verificar os dados meteorológicos e comparar aos resultados obtidos poderia se supor que devida a diminuição da umidade do solo (ausência de precipitação), os teores de P diminuíram no sexto dia em consequência da menor atividade microbiológica, mas isso é equivocado uma vez que os teores de P aumentam no dia 12, mesmo sem evento significativo de chuva. Destaca-se, portanto a grande dinâmica que ocorre no solo e efeitos ainda incompreensíveis, carecendo de avaliações pontuais e de maior abrangência.

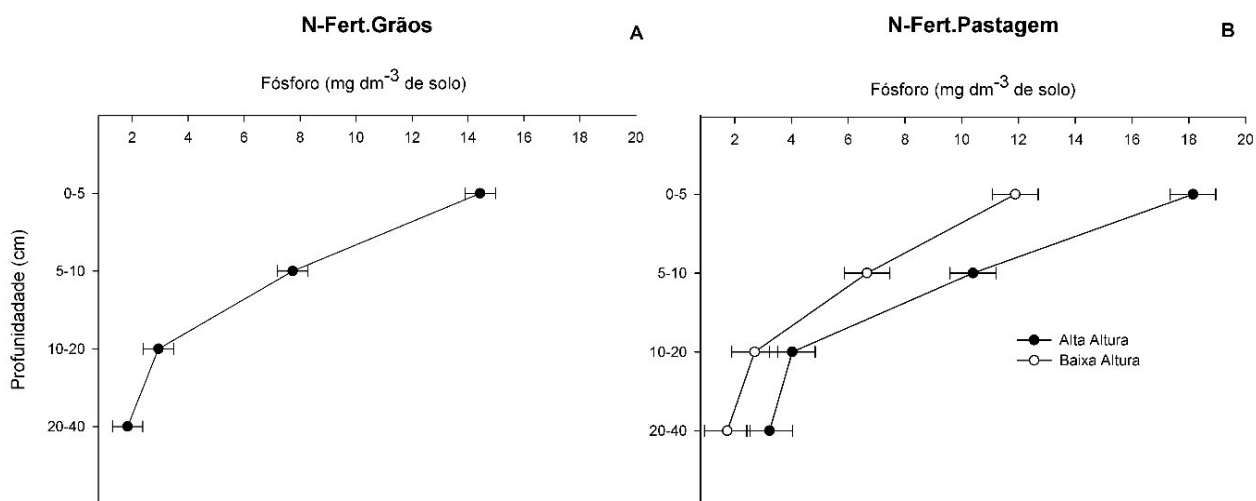
Outro fator que poderia justificar essa diminuição nos teores de P verificado no dia 6 e, aumento no dia 12, seria alguma alteração no valor de pH do solo, dada a forte influência do pH sobre a disponibilidade de formas de P inorgânico e na atividade enzimática (HINSINGER, 2001). Entretanto, os valores de pH diminuem a partir do terceiro dia de avaliação (dados não publicados) e, portanto, não é possível estabelecer uma correlação entre estes resultados. Apesar da disponibilidade de P ser altamente influenciado pelo pH do solo (HINSINGER, 2001).

Também se constatou efeito da interação tempo de N x altura de pasto x

profundidade de solo ($p=0,0070$). Novamente a parcela N-Fert. Grãos, foi influenciada apenas pelo fator profundidade do solo (Figura 11 A), apresentando na camada 0- 5 cm, $14,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e na camada 0-10 cm o teor de P diminuiu para $7,7 \text{ mg dm}^{-3}$. Nas parcelas N-Fert. Pastagem (Figura 10 B) constatou-se a influência da interação entre os fatores alturas de pasto e profundidade de solo. Neste tratamento os teores de P foram, $18,15$ e $10,40 \text{ mg dm}^{-3}$ e $11,88$ e $6,66 \text{ mg dm}^{-3}$, para baixa e alta altura e nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, respectivamente.

Novamente, os menores teores de P (0-10 cm) foram encontrados nas parcelas conduzidas em baixa altura e que receberam nitrogênio, isso é reflexo da maior absorção pelas plantas como já discutido anteriormente, onde a constante desfolha promove aumento na demanda por nutriente, e isso é intensificado pela aplicação de N nesta fase, fazendo com que ocorra grande produção e matéria seca.

Figura 11- Concentração de Fósforo (mg dm^{-3}) no solo em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura - Pecuária. Diferença estatística apenas para N-Fert. Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos ($p= 0,0000$) $\pm 0,543$; N-Fert. Pastagem ($p=0,0067$) $\pm 0,806$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Em trabalho realizado Levinski-Huf (2018), 13 dias após a aplicação de N no perfilhamento do azevém, verificou-se que os maiores teores de P foram em áreas onde a pastagem recebeu adubação nitrogenada, e que foram conduzidas tanto em alta altura, como em baixa, apresentaram teores de P no solo acima de 10 mg m^{-3} (camada 0-10 cm), a autora atribuiu esse resultado a influência da aplicação de nitrogênio na mineração da palhada da cultura antecessora (soja), fornecendo energia para os microrganismos.

O P apresentar baixa mobilidade no solo (COSTA et al., 2009), o que justifica essa maior concentração nas camadas superficiais. Ademais, os maiores valores verificados na camada superficial do solo podem estar ligados a maior atuação e crescimento radicular. Costa et al. (2014), relata que o sistema radicular das plantas

promove a formação de macroporos e bioporosidade, fato que favorece a migração do P para camadas mais profundas do solo.

O pastejo, por sua vez, contribui de forma positiva para o crescimento radicular o qual, promove a exsudação de compostos orgânicos que aumentam a solubilização/mineralização de nutrientes e a dinâmica microbiana. De acordo com Bais et al. (2006) e Giles et al. (2017), as raízes das plantas são capazes de modificar o ambiente ao seu redor, pela exsudação de ânions, ácidos orgânicos, enzimas, metabólitos secundários e açúcares, isso acontece principalmente na rizosfera (primeiros milímetros de solo ao redor das raízes das plantas), zona importante para a dinâmica do P. A liberação de exsudatos da raiz pode ser uma estratégia da planta para aumentar a mineralização de P, aumentando a atividade microbiana (SPOHN et al., 2013).

É importante ainda considerar que nas camadas superficiais (0-10cm) onde os maiores valores de P foram verificados, pode ser em consequência a adubação fosfatada que ocorrer na linha de semeadura (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). Segundo Campos et al. (2018), a camada superior do solo (0–10 cm), conhecida como solo superficial é a zona onde a disponibilidade de P para plantas e microrganismos é geralmente maior, principalmente devido à entrada de fertilizantes na superfície e a baixa mobilidade do P através do perfil do solo.

Do ponto de vista prático considerando os valores médios de P encontrados nas camadas superficiais do solo (Figura 11A e 11B), são considerados altos (CQFS, 2016). Isso é relevante ao considerarmos que estamos tratando de um solo com alto teor de argila (>60%) e a capacidade de extração de P pela solução Mehlich-1 é baixa em consequência da forte ligação entre os teores de óxidos de Fe e Al presente nestes solos (GATIBONI et al., 2016). Logo, o sistema apresenta adequado suprimento de fósforo disponível no solo.

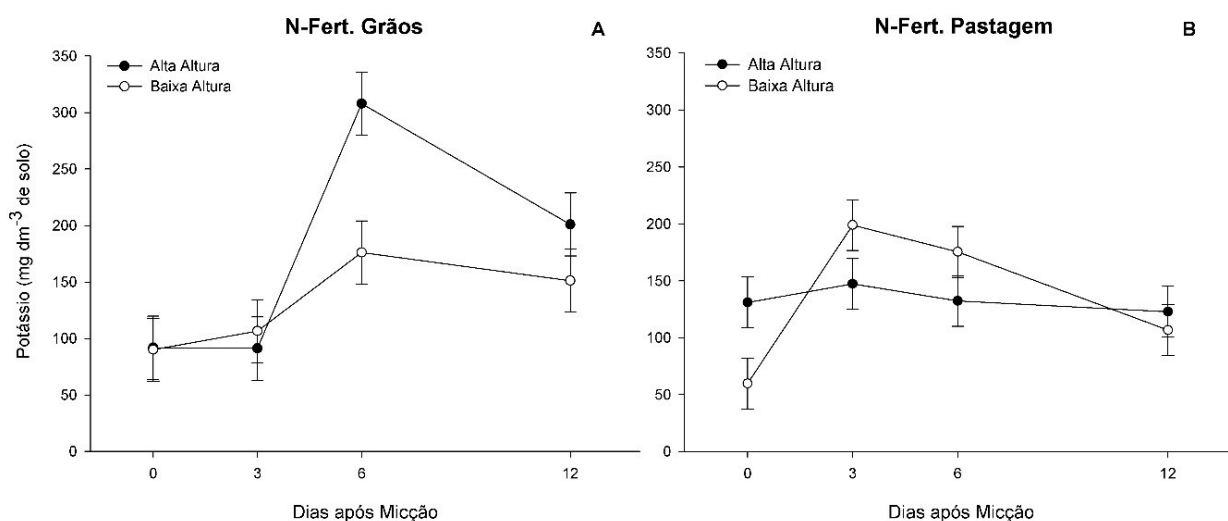
3.3.4 Comportamento do Potássio no solo em pontos de deposição de urina

Constatou-se a influência da interação tripla tempo de N x altura de pasto x dias após micção ($p=0,0001$). Conforme observa-se na figura 12, o K apresentou comportamento diferente dependendo do manejo aplicado.

De modo geral, a aplicação de N na pastagem resultou em maiores teores de K no solo quando a pastagem foi manejada em baixa altura, e a partir do terceiro dia (Figura 12 B). Possivelmente, este resultado esteja relacionado a maior entrada de K no

sistema, uma vez que 70-90% do K ingerido pelos animais durante o pastejo é retornada ao solo via excreta e principalmente via urina (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Somado a isso, nestas parcelas o número de animais é muito superior, 5,4 UA por ha⁻¹ (N-Fert. Pastagem baixa altura) em relação ao tratamento N- Fert. Pastagem alta altura (2,8 UA por ha⁻¹) (BARRIGA, 2019). Ou seja, nestas áreas há muito mais K entrando no sistema via urina, pelo maior número de animais e consequentemente maior número de micções.

Figura 12- Concentração de Potássio (mg dm⁻³) no solo em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos (p=0,0405) ± 27,92; N-Fert. Pastagem (p=0,0213) ± 22,32. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Por outro lado, Ferreira et al. (2011), avaliando a disponibilidade e balanço do K em ILP, concluíram que ciclagem de K aumenta com o aumento da intensidade de pastejo, e que o maior deficit no balanço de K foi verificado nas áreas de maior intensidade de pastejo (altura 10 cm). Os autores atribuíram esse resultado pelas maiores perdas de K no sistema (erosão, escoamento superficial ou lixiviação) resultante da presença de maior número de animais (3,22 animais ha⁻¹), aliada à grande pluviosidade ocorrida no local no período de pastejo. Ainda, o estudo mostra que apesar do balanço de potássio no campo nesse sistema de Integração Lavoura-Pecuária ter sido negativo (K final < K inicial), com um maior deficit nas áreas com maior intensidade de pastejo (10 cm), os teores disponíveis desse nutriente se mantiveram altos e não influenciaram o rendimento de grãos da soja.

Da mesma maneira, ao analisar os dados de produtividade do feijoeiro, cultura sucessora a deste estudo, pode-se verificar que as maiores produções foram obtidas no tratamento N-Fert. Pastagem quando conduzido em alta altura (3.136 kg ha⁻¹), e baixa altura (3.009 kg ha⁻¹), não diferindo estatisticamente entre si, confirmando o efeito da ciclagem de nutrientes e sua intensificação pela aplicação de nitrogênio (Rhoden,

2019). Vale ainda ressaltar que neste tratamento (N-Fert. Pastagem baixa altura), o ganho de peso vivo por área foi de 860 Kg ha⁻¹, enquanto para N-Fert. Pastagem alta altura, N-Fert. Grãos baixa altura, N-Fert. Grãos alta altura, o ganho de peso vivo por área foi de 596, 406, 342 Kg ha⁻¹, respectivamente.

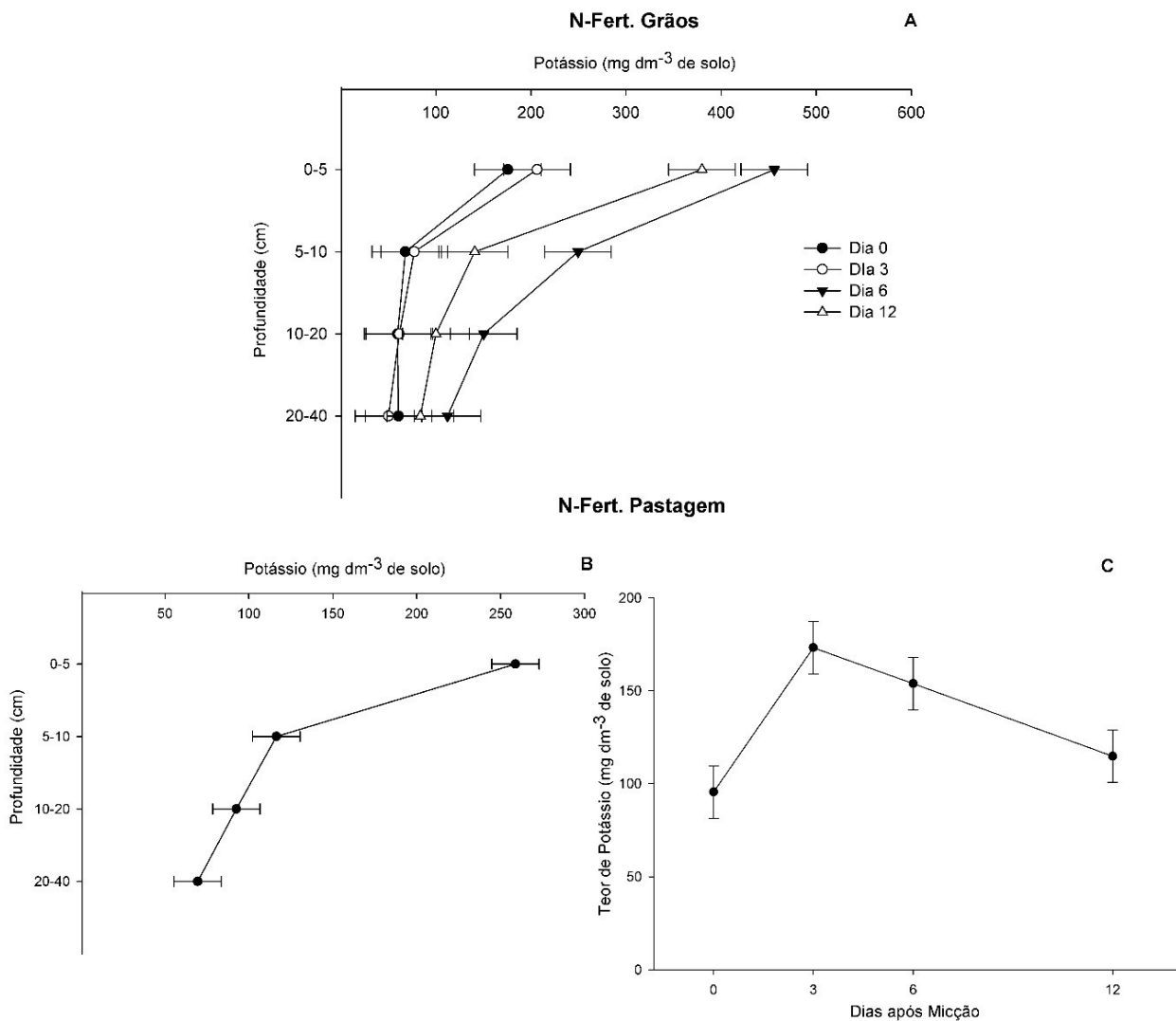
Já o tratamento N-Fert. Grãos (sem N nesta fase), os maiores teores foram verificados em plantas conduzidas em alta altura, e a partir do sexto dia de avaliação (Figura 12 A). Este resultado pode estar relacionado com a baixa absorção pelas plantas conduzidas em alta altura e que não receberam nitrogênio, uma vez que existe uma relação entre a absorção de N e K, onde a oferta de N aumenta o crescimento das plantas e, conseqüentemente, aumenta a demanda por K e outros nutrientes (WILKINSON et al., 2000). Dessa forma, a menor entrada de N pode ter limitado o crescimento das plantas. De fato, Barriga (2019), avaliado a produção de forragem neste mesmo ano e experimento encontrou menores produção de forragem neste tratamento (N-Fert. Grãos alta altura = 5.607 Kg ha⁻¹). Por outro lado as plantas conduzidas em baixa altura, e que também não receberam N nesta fase (Figura 12A), podem ter sido influenciadas pelo pastejo o que aumenta o requerimento das plantas por nutrientes (N-Fert. Grãos baixa altura = 6.228 Kg ha⁻¹), assim, absorvendo mais K diminuindo sua disponibilidade no solo.

Para a interação tempo de N x dias após micção x profundidade de solo (p=0,0100), após o isolamento do fator tempo de N, constatou-se interação entre dias após micção e profundidade de solo para N-Fert. Grãos (Figura 13A) e efeito simples para dias após micção e profundidade de solo no tratamento N-Fert. Pastagem (Figura 13B e 13C).

É constatado a formação de um gradiente decrescente de concentração de K a partir da superfície (Figura 13). Esse gradiente de concentração de K também foi verificado em outros trabalhos, como Ferreira et al. (2009).

Na figura 13 A, o tratamento N-Fert. Grãos, no dia seis e no dia 12 foram observadas as maiores concentrações do K na camada 0-5 cm, representando 455,98 e 379,89 mg dm⁻³ de solo, respectivamente. Neste tratamento, ainda, verifica-se maiores teores de potássio até camada 0-10 cm, reforçando a hipótese de menor extração pelas plantas nessas condições. O tratamento N-Fert. Pastagem (Figura 13 B) o teor de K, foi de 258,8 mg dm⁻³ de solo, na camada 0-5 cm. Vale destacar que estes valores representam um nível muito alto de disponibilidade de K para as plantas (CQFS, 2016).

Figura 13 - Concentração de Potássio (mg dm^{-3}) em função do tempo de aplicação de nitrogênio na pastagem de azevém em sistema de Integração Lavoura – Pecuária. Barras verticais indicam o erro padrão da média (N-Fert. Grãos ($p= 0,0336$) $\pm 35,04$; N-Fert. Pastagem ($p= 0,0000$ (A); $p= 0,0003$ (B)) $\pm 14,09$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Os maiores teores de K, verificado nas camadas superficiais em ambos os tratamentos são uma importante fonte de nutrientes para as plantas, tendo em vista que a maior parte do sistema radicular se encontra nessas camadas. De acordo com estudo realizado por Williams et al. (1989), avaliando durante um período de 7 meses após um evento de micção, descobriram que a grande maioria de K absorvidos pelas plantas de pastagem se originava da superfície de 12 cm de profundidade do solo.

Ao analisar o K na profundidade 20-40 cm, verifica-se que os maiores teores ocorrem no tratamento N-Fert. Grãos (Figura 13 A), valores médios próximos de 100 mg dm^{-3} , o que é considerado uma disponibilidade alta de K (CQFS, 2016), já no tratamento N-Fert. Pastagem na mesma camada o teor de K é $69,5 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado uma disponibilidade média. Isso remete a importância da constante demanda por nutrientes

pelas plantas, tendo em vista a captura deste nutriente, evitando sua descida a maiores profundidades. O K por se tratar de um elemento de apenas uma carga de valência (K^+), possui adsorção fraca aos colóides do solo (ERNANI et al., 2007) e, portanto, pode ser facilmente carregado para profundidades além daquelas alcançadas pelas plantas (OLIVEIRA; VILLAS-BOAS, 2008). O manejo da pastagem em baixa altura, portanto, pode reduzir a possibilidade de lixiviação de K, apesar do maior número de micções no sistema.

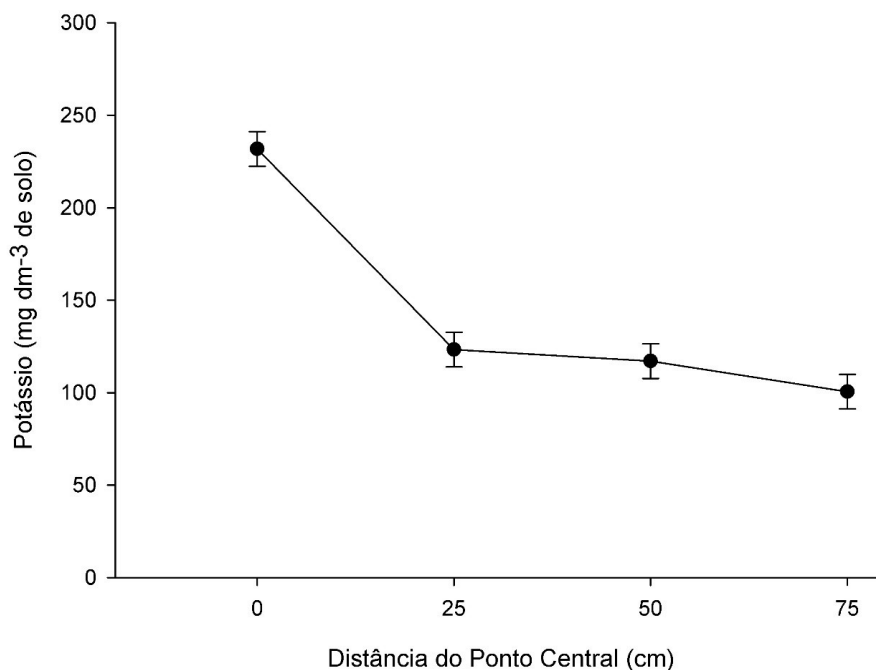
Neste contexto, algumas características do solo podem influir na manutenção desse nutriente nas camadas superficiais do solo. Uma delas é a CTC do solo, que é aumentada em função da matéria orgânica do solo ($51,7 \text{ g dm}^{-3}$) (CIOTTA et al., 2003). Portanto, uma adequada CTC possibilita uma menor perda de potássio por lixiviação, uma vez que, haverá menos K na solução do solo para uma mesma quantidade de K total (YAMADA; ROBERTS, 2005).

Ainda, o comportamento do K no solo após a deposição e urina, se diferiu entre os tempos de aplicação de N no sistema. De forma geral, quando a pastagem não recebeu N nesta fase (N-Fert. Grãos) o maior teor foi verificado a partir do dia 06 (Figura 13A). Enquanto em áreas onde houve aplicação de N (N-Fert. Pastagem), o maior teor de K foi verificado no dia 3 (Figura 13B). Essa antecipação de liberação de K no solo em pontos de micção onde a pastagem recebeu N, pode ser em decorrência da maior mineralização da matéria orgânica no solo e da atividade microbiana, uma vez que a urina oferece além de grande quantidade de K e N, outros substratos (HAYNES; WILLIAMS, 1993), influenciando na disponibilidade de nutrientes, entre eles o K. Por outro lado, onde a pastagem que não recebeu N, a entrada tanto de K, assim como de N é menor, retardando a disponibilidade de K nos pontos de urina. De acordo com Mielniczuk, (2005), em SPD a longo prazo, ocorre aumento na ciclagem de K devido a mineralização da matéria orgânica do solo, pelo acúmulo de resíduo e pela maior atividade microbiológica neste sistema. Além disso, Bayer e Mielniczuk, (1997), destacam que o aumento do carbono no solo a longo prazo, causa um incremento na CTC, isso refletirá diretamente na disponibilidade de K ao solo.

Ainda, constatou-se diferença estatística para o fator distância do ponto central (Figuras 14). A maior concentração de K foi verificado no ponto central de micção (0 cm), com $231,79 \text{ mg K dm}^{-3}$ de solo, enquanto nas demais distâncias não houve diferença entre si, com $123,31$, $117,04$ e $100,51 \text{ mg K dm}^{-3}$ de solo, para 25, 50 e 75 cm do ponto central de micção, respectivamente (Figura 14). Esse efeito possivelmente é resultado da entrada de K através da urina, da qual apresentou $20,2$ e $26,6 \text{ g L}^{-1}$ de urina,

para N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem, respectivamente (Tabela 2). E pelo fato, de o potássio na urina estar na forma iônica, solúvel em água e prontamente disponível (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

Figura 14- Concentração de Potássio (mg dm^{-3}) no solo em função da Distância do Ponto Central de Micção ($p= 0,0000$). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\pm 9,38$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Nas demais distâncias do ponto central da urina, não foram verificadas alterações nos teores de K (Figura 14), podendo-se concluir que não há deslocamento do K horizontalmente no solo proveniente da urina bovina. Entretanto Braz et al. (2002), observaram que a disponibilidade de K em placas de fezes aumentou os teores de potássio e a produção de matéria seca em um raio de 25 cm, não sendo verificada essas diferenças em outras regiões estudadas (50 e 100 cm).

3.4 Conclusões

Animais alimentados com pastagem que receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo, apresentam maiores teores de N e K na urina. O fósforo não foi afetado por nenhum dos manejos adotados na pastagem.

Áreas de pastagem que receberam adubação nitrogenada (200 kg N ha^{-1}) e que foram conduzidas com maior pressão de pastejo (baixa altura – 10 cm), apresentam menores teores de nitrogênio e fósforo no solo, devido à alta demanda de nutrientes pelas plantas. O potássio apresentou maior concentração nesta condição, associado ao

aumento de pontos de micção e a alta concentração de K na urina.

A área de difusão do nitrogênio provindo da urina animal não ultrapassa os 25 cm do ponto central de micção, e o potássio permanece no ponto central, sem difusão lateral até 25 cm. O fósforo não influencia em nenhuma das distâncias avaliadas.

O nitrogênio, fósforo e potássio permanece nas camadas superficiais do solo (0-10cm).

O nitrogênio provindo da urina é convertido a nitrato na primeira semana após a micção.

Apesar de ser verificado alta concentração de N e K nos pontos de micção, não foi verificado indícios de lixiviação desses nutrientes em nenhum dos manejos adotados na pastagem.

4 EFEITO DA PRESENÇA DE ÁRVORES E ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE OS NUTRIENTES EM UM SOLO ARENOSO EM PONTOS DE DEPOSIÇÃO DE URINA BOVINA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

4.1 Introdução

É cada vez mais evidente a importância de estudos que envolvam processos produtivos que visem a sustentabilidade dos sistemas agrícolas a longo prazo. Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) baseiam-se em promover serviços ecossistêmicos baseados na ciclagem de nutrientes, que por sua vez, atuam diretamente na qualidade do solo.

Em SIPA as excreções dos animais, urina e esterco, são fontes de suma importância de nutrientes para as plantas e para a biomassa microbiana. A inclusão de bovinos nos sistemas agrícolas modifica o fluxo de nutrientes, devido a diminuição das partículas vegetais através do pastejo, e conseqüentemente a ciclagem de nutrientes é acelerada (RUSSELLE, 1997), tornando a dinâmica dos nutrientes ainda mais complexa dentro dos SIPA, em relação aos sistemas altamente especializados (grão ou carne).

Muitos estudos vêm sendo realizado em SIPA relacionando o efeito do pastejo sobre a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes deixado pela pastagem (matéria seca residual), e pelas excretas dos animais em pastejo (fezes e urina) sobre a cultura de grãos sucessora. Entretanto, a ciclagem de nutrientes via urina, ainda é pouco conhecida, sendo, uma importante fonte de nutrientes para o sistema, principalmente nitrogênio e potássio (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

Os ruminantes convertem baixa quantidade de nutrientes consumidos via pastagem em produto animal, variando de 5 a 30%, tornando o retorno de nutrientes para o solo, através da excreta animal, um evento importante no ciclo dos nutrientes (ROTZ et al., 2005; DUBEUX, et al., 2007). Em estudo realizado por Betteridge et al. (1986), com novilhos em pastejo verificou-se que 40 a 51% do N, 33 a 76% do K, e 2 a 4% do P consumido, retornaram via excretas. Contudo, há uma grande variação na concentração dos nutrientes que retornam via excretas e a porção de minerais que é retido em produto animal, essa variação se dá de acordo com a categoria, a idade, a condição corporal e fisiológica do animal, o estágio de produção e o nível de consumo de forragem (MATHEWS et al., 1996). Já a quantidade e o número de excreções por dia podem ser influenciados pelas condições de pastejo, pelos fatores climáticos, pela ingestão de água e pelo teor de água na forragem (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

Dessa a forma, a grande quantidade de nutrientes entrando em pontos localizados podem ser passíveis de perdas, uma vez que, que podem exceder a demanda da planta. Ainda as características intrínsecas ao solo, como é o caso do baixo teor de argila em solos arenosos, podem influenciar diretamente no processo de lixiviação (KAYSER; ISSELSTEIN, 2005), principalmente se falando de N e K, já o fósforo é menos sucessível a perdas pela sua baixa mobilidade no solo.

Apesar de o potássio ser lixiviado facilmente por possuir apenas uma carga (K^+), o mesmo, não tem sido associado a efeitos adversos ao meio ambiente (KAYSER; ISSELSTEIN, 2005), como é o caso do fósforo e do nitrogênio. Entretanto, pensando em sustentabilidade ambiental e econômica, o manejo adequado dos nutrientes no solo, tem ganhado cada vez mais atenção, por serem o principal meio para promover a segurança alimentar. Dessa forma, o grande desafio é manter esse nutriente ciclando entre os componentes de um sistema (solo-planta-animal), e os sistemas integrados quando bem manejados oferecem ferramentas para tornar isso possível.

O componente arbóreo por exemplo, em sistemas integração Lavoura-Pecuária-Floresta pode atuar no sentido de retirar os nutrientes em grande profundidade do solo, pela maior extensão de raízes. Ainda, componente arbóreo pela deposição constante de folhas, casca e galhos promove benefícios que vão desde a proteção do solo, disponibilização de nutrientes e matéria orgânica no solo, melhorando as condições de agregação e porosidade do solo, e ainda reduzem a temperatura do solo e propiciam condições de melhor bem-estar animal (SCHUMACHER et al., 2004; XAVIER et al., 2011; PIOVESAN et al., 2012; LOSS et al., 2014; ALVES et al., 2019)

O manejo mais eficiente da pastagem, por sua vez, tem recebido atenção nos últimos anos, por se tratar de uma estratégia eficaz na extração de nutrientes do solo. A intensificação do pastejo, estimula o crescimento radicular a buscar por mais nutriente como estratégia de repor o aparato fotossintético, removido pelo ato do pastejo. Entretanto, em áreas de pastejada a distribuição das excretas se dá de forma heterogênea e em grande concentração, o que pode dificultar a recuperação desses nutrientes pelas plantas (White et al., 2001). Este fato, pode contribuir para as perdas de nutrientes devido aos processos de volatilização, desnitrificação, lixiviação, e escoamento superficial (HAYNES; WILLIAMS, 1993; OENEMA et al., 1997; BARNEZE et al., 2014; LESSA et al., 2014; PIVA et al., 2014).

Neste contexto, verifica-se a importância de conhecer a dinâmica dos nutrientes nos sistemas integrados. Para tanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento dos nutrientes em pontos de micção bovina, em uma pastagem mista de

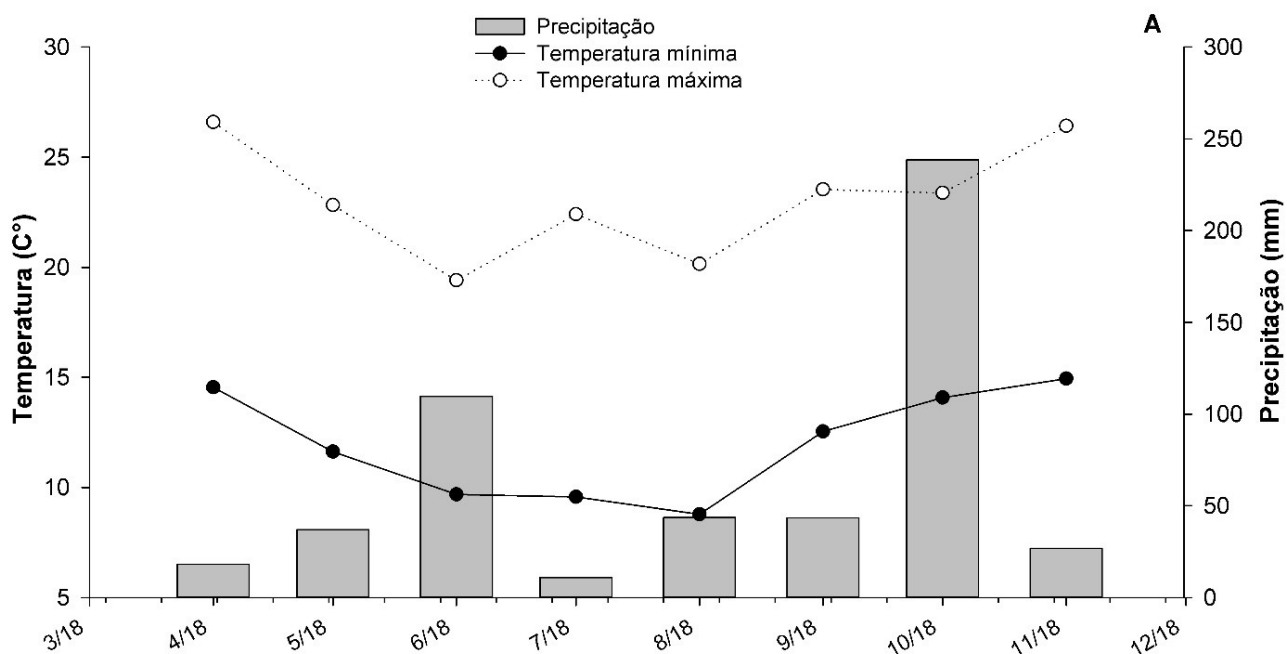
Lolium multiflorum + *Avena strigosa* em função da aplicação de nitrogênio e da presença de árvores em sistemas integrados de produção agropecuária, em solo com textura arenosa.

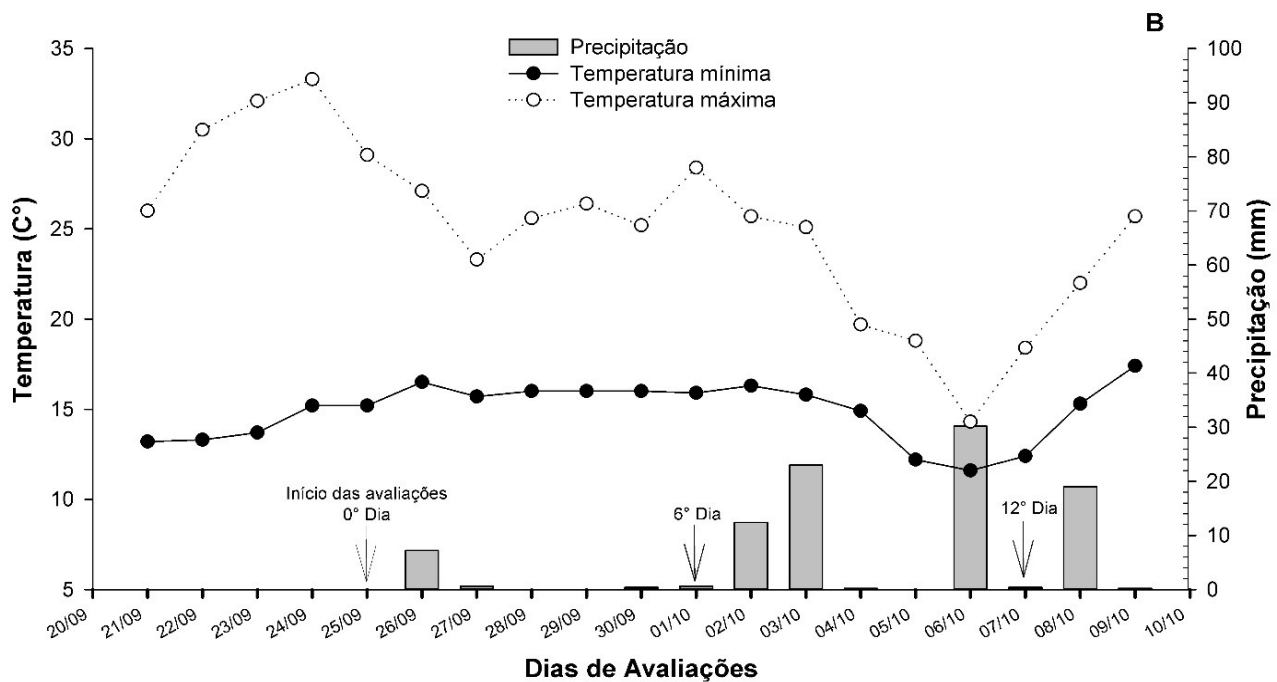
4.2 Material e Métodos

4.2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado no Instituto de Desenvolvimento Rural de Paraná IAPAR-Emater, Ponta Grossa-PR (25° 07' 22" S, 50° 03' 01" W) no sul do Brasil. O clima local é subtropical úmido, ou Cfb, no sistema de classificação Köppen (KÖPPEN; GEINGER, 1928), com ocorrência frequente de geadas e temperatura média anual de 17,6 °C, variando de 14°C em julho a 21°C em janeiro. A pluviosidade média anual é 1400 mm. Os dados meteorológicos durante o período experimental são mostrados na Figura 15.

Figura 15- Dados meteorológicos durante o período de desenvolvimento da pastagem (A) e dados meteorológicos durante o período de coleta de solo nos pontos de micção de urina (B). Ponta Grossa – PR, Brasil. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.





Fonte: SIMEPAR, Ponta Grossa – PR, (2021).

A área experimental é de 13,07 ha, sendo 6,09 ha arborizados. Tais áreas são contíguas, contendo uma associação de solos classificados como Cambissolo Háplico Distrófico típico e Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura arenosa, com 19%, 3% e 78% de argila, silte e areia nos 20 cm superiores, respectivamente. O relevo possui entre 4 e 9% de declividade.

A análise química de solo, apresentou as seguintes características na camada de 0 a 20 cm: pH (CaCl₂)= 4,97, matéria orgânica (MO) = 24,96 g dm⁻³, P = 71,16 mg dm⁻³, K = 98,40 mg dm⁻³, Ca = 2,16 cmol (c) dm⁻³, Mg = 1,27 cmol (c) dm⁻³, saturação básica = 47,09 %, CTC= 7,73 cmol (c) dm⁻³, NH₄⁺= 11,93 mg Kg⁻¹ de solo, NO₃⁻= 9,07 mg Kg⁻¹ de solo e N-Mineral= 21,00 mg Kg⁻¹ de solo. E na camada de 0 a 0,4 m: NH₄⁺= 9,89 mg Kg⁻¹ de solo, NO₃⁻= 6,45 mg Kg⁻¹ de solo, N-Mineral= 16,34 mg Kg⁻¹ de solo.

4.2.2 Histórico da área

Em 2006, três espécies de árvores, eucalipto (*Eucalyptus dunnii* aiden), aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.), foram plantadas em 6 das 12 unidades experimentais. As espécies foram intercaladas nas mesmas fileiras, transversalmente em relação à encosta, com orientação predominantemente Nordeste-Sudoeste, com espaçamento de 3×14 m (238 árvores ha⁻¹).

A área experimental vem sendo conduzida em sistema de Integração Lavoura-Pecuária, usando o plantio direto desde 2009. No inverno de 2010, o sistema de produção integrou pastagens de estação fria (aveia preta + azevém) e milho de estação quente (cv. IPR 164) ou soja (cv. Apollo RR) na mesma área e no mesmo ano de cultivo.

Durante o verão de 2013, a área experimental foi reduzida para 159 árvores ha⁻¹ com a remoção das árvores de aroeira. Em novembro de 2014 ocorreu o desbaste das árvores de grevilea com o intuito de reduzir o efeito negativo do elevado sombreamento, permanecendo, portanto, apenas as árvores de eucalipto na área experimental (79 árvores ha⁻¹). Em novembro de 2015, ocorreu mais um desbaste, em função do alto impacto negativo do sombreamento pelas árvores de eucalipto, permanecendo, portanto, 40 árvores por ha, num espaçamento entrelinhas de 28 m.

4.2.3 Tratamentos e desenho experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial (2x2x3x4x4), com três repetições. Dois tratamentos de adubação nitrogenada (90 e 180 kg N ha⁻¹, N90 e N180, respectivamente, na forma de ureia, com uma única aplicação durante a fase pastagem) foram alternados com dois sistemas integrados: somente Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária com árvores (ILPF), envolvendo três repetições por tratamento, num total de 12 parcelas, cada uma com 0,99 ± 0,231 ha. As doses de N foram escolhidas para fornecer nutrição limitante (90 kg N ha⁻¹) e não limitante (180 kg N ha⁻¹) de acordo com Alves (2002). O terceiro fator foram os dias após a micção (DAM), que foram realizados no dia 0 (zero), ou seja, imediatamente após a micção, no sexto e décimo segundo dia após o início da avaliação. O quarto fator foi a distância do ponto central (DPC) da micção, sendo estes equidistantes: 0 cm (ponto central do local de micção da urina), 25, 50 e 75 cm do ponto central. E como um quinto fator, as diferentes profundidades ao longo do perfil do solo, 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm.

Figura 16 - Croqui da área experimental N- = 90 kg de N ha⁻¹; N+ = 180 kg de N ha⁻¹; as cores representam os diferentes blocos e os números as unidades experimentais.



A semeadura de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) + azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), ocorreu em 16 de maio de 2018, em sistema de plantio direto, com espaçamento entrelinhas de 17 cm e densidade de semeadura de 45 e 15 kg ha⁻¹, respectivamente, sendo aplicado 400 kg ha⁻¹ de fórmula comercial 4-30-10 (NPK), o que representa 16 kg N ha⁻¹, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 40 kg K₂O ha⁻¹ no momento da semeadura. A aplicação de ureia (45% de N) ocorreu em 18 de junho de 2018 (33 dias após a semeadura da pastagem), utilizando 90 kg N ha⁻¹ ou 180 kg N ha⁻¹ de acordo com os tratamentos.

A cultura utilizada anteriormente (verão 2017-2018) foi o milho (*Zea mays* L.) para produção de grãos, variedade IPR 164, semeada no início de novembro de 2017, em sistema de plantio direto, com espaçamento ente linhas de 0,80 m, com 6,0 sementes por metro linear, configurando uma população inicial de 75000 plantas ha⁻¹. Foram utilizados como forma de adubação 400 kg ha⁻¹ de fórmula comercial 10-30-10 (NPK; 40 kg N ha⁻¹, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 40 kg K₂O ha⁻¹), no momento da semeadura e 270 kg de ureia ha⁻¹ em cobertura 40 dias após a semeadura, em dose única nos dois sistemas.

4.2.5 Manejo da altura da pastagem

O sistema de pastoreio utilizado foi o contínuo com o uso da técnica “*put and take*”, descrita por Mott e Lucas (1952), para o ajuste da carga e manutenção de altura constante da pastagem de cerca de 20 cm pelo uso de animais reguladores. Segundo Kunrath et al. (2014), o manejo de pastagens anuais misturadas de azevém e aveia preta a 20 cm, sob lotação contínua, leva a vários benefícios do sistema solo-planta-animal. Em cada área experimental foram mantidos três animais “*testers*” da raça Purunã (com idade entre 8 e 10 meses-fêmeas) durante a fase pecuária do experimento. Os ajustes foram realizados regularmente, baseados nas avaliações semanais de altura da pastagem, medindo com o auxílio de uma régua graduada, 100 pontos por unidade experimental. A entrada dos animais no pasto foi em 05 de julho de 2018 (50 dias após a semeadura da pastagem), quando o azevém + aveia apresentava altura média geral de todos os tratamentos de 24,27 cm, permanecendo até o dia 17 de outubro de 2018.

4.2.6 Coleta e análise da urina

As coletas de urina foram realizadas seguindo a metodologia de coleta de amostra *spot*, que se dá por micção espontânea dos animais (BEZERRA et al., 2010). A coleta foi realizada no momento da pesagem dos animais, utilizando três animais *testers* de cada tratamento. Imediatamente após a coleta, as amostras de urina foram filtradas com papel filtro e acidificadas com 40 ml de ácido sulfúrico (0,036N) em 10 ml de urina (VALADARES et al., 1999), identificadas e imediatamente congeladas (-20 °C), até serem analisadas.

As amostras de urina resfriadas foram analisadas quanto à concentração total de N, P e K, usando o método de destilação direta de Keeney e Bremner (1966), descrito por Tedesco et al. (1995). A concentração de N, P e K total na urina foi expressa em gramas por litro (g L^{-1}) de urina fresca.

4.2.7 Coleta e análise de solo: Nitrato, Amônio, Fósforo e Potássio

A coleta de solo ocorreu no dia 25 de setembro de 2018, após 82 dias do início do pastejo (05 de julho de 2018) e 99 dias após a aplicação de N (18 de junho de 2018). Para a coleta de solo, inicialmente foram observados os animais a campo,

identificando três pontos de micção de urina dentro de cada parcela, demarcando o ponto central do sítio de urina.

As amostragens de solo foram realizadas com o auxílio de um trado calador, estratificadas nas profundidades, 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. Essa forma de coleta teve por objetivo diminuir a movimentação no ponto central de micção, uma vez que as coletas se estenderam, além do dia zero (0), no dia seis (6º) e no décimo segundo dia (12º) após a micção. Ainda foram realizadas coletas em diferentes distâncias do ponto central (DPC) do sítio de urina, sendo à 0 (ponto central), 25, 50 e a 75 cm do ponto central.

Após a coleta, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 40-45 °C por aproximadamente 120 horas, moídas em peneiras com malha de 2 mm e conduzidas para análise. As análises para determinação do Nitrato e Amônio foram efetuadas conforme a metodologia de Bremner e Keeney (1966), pelo método Kjeldahl de destilação de arraste a vapor, utilizando KCl 1M conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

Os teores de P e K disponíveis foram determinados após extração em Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) na proporção solo: extrator 1:10 seguido de agitação por 15 minutos e decantação por 16 horas. O fósforo foi determinado por espectroscopia de absorção molecular do azul de molibdênio, formado na reação entre os íons ortofosfato (PO_4^{3-}) com o molibdato (MoO_4^{2-}) em meio fortemente ácido, e o Potássio foi determinado por fotometria de chama, usando uma alíquota filtrada do extrato obtido, conforme procedimentos descritos por Pavan (1992).

4.2.8 Análise estatística

Após a verificação do atendimento aos pressupostos da análise de variância, os dados de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância considerando o modelo matemático do esquema fatorial ($2 \times 2 \times 3 \times 4 \times 4$), com três repetições no delineamento blocos ao acaso ($\alpha = 5\%$). As interações triplas significativas entre dois fatores quantitativos quaisquer (Dias após a micção/distância do ponto central da micção) e um fator qualitativo (níveis de nitrogênio ou sistemas integrados ou profundidades do solo) foram desdobradas por meio de superfície de resposta dos fatores quantitativos dentro de cada nível do fator qualitativo. Interações entre fatores qualitativos foram desdobradas por meio da comparação de um fator dentro do outro usando o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$). Este mesmo teste também foi utilizado para comparar os efeitos

principais significativos dos fatores qualitativos. Todas as análises foram realizadas no software estatístico Statgraphics.

4.3 Resultados e Discussões

4.3.1 Caracterização química da urina

Na caracterização química da urina dos animais, houve diferença estatística para os teores de fósforo e nitrogênio entre os níveis de adubação nitrogenada (Tabela 3). O nitrogênio apresentou maior concentração no tratamento N180 (4,06 g L⁻¹), em relação ao N90 (2,05 g L⁻¹). A dose de N aplicada reflete em maior teor de proteína na pastagem e, conseqüentemente, maior concentração de N na urina. A concentração de N-urina, no tratamento N180, representa 98,01 % a mais em relação ao tratamento N90.

A maior concentração de P na urina também foi proveniente do tratamento N180 (180 kg de N ha⁻¹), com 0,12 g L⁻¹ de solo, já o tratamento N90 (90 kg de N ha⁻¹), apresentou 0,05 g L⁻¹, isso representa um acréscimo de 140 % no tratamento N180, em relação ao N90. Apesar da baixa contribuição na reciclagem de P via urina e que de acordo com Haynes e Willians (1993), são encontrados apenas traços de fósforo na urina de ruminantes, uma vez que, em torno de 95% do P consumido pelos animais, retornam via fezes.

Tabela 3 - Concentração de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) contido na urina de bovinos alimentados com *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, em função dos níveis de nitrogênio (90 e 180 kg N ha⁻¹; N90 e N180, respectivamente). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.

Níveis de Nitrogênio	N (g L ⁻¹ de urina)	P (g L ⁻¹ de urina)	K (g L ⁻¹ de urina)	
	<i>p</i> =0,0000	<i>p</i> =0,0249	<i>p</i> =0,0277	
			ILP	ILPF
N90	2,05 ^B	0,05 ^B	7,9 ^{Bb}	15,14 ^{Aa}
N180	4,06 ^A	0,12 ^A	16,06 ^{Aa}	15,89 ^{Aa}

Para Potássio houve interação entre os fatores SIPA x Níveis de N. A menor concentração foi verificada na combinação ILP N90 (7,9 g L⁻¹). As demais combinações não diferiram entre si (ILP N180=16,6; ILPF N90=15,14; ILPF N180 = 15,89 g L⁻¹). Esse resultado pode estar associado a baixa quantidade de N disponibilizadas as plantas conduzidas em ILP (ILP N90), que reduz também a absorção, como é o caso do K. De acordo com Wilkinson et al. (2000), existe uma relação entre a absorção de N e K, onde a

oferta de N aumenta o crescimento das plantas e, conseqüentemente, aumenta a demanda por K. Por outro lado, no sistema com árvores e que recebeu a mesma dose (ILPF N90) esse efeito não é verificado, possivelmente isso esteja atrelada a influência do sombreamento, uma vez que em condições de baixa luminosidade as plantas diminuem a produção de matéria seca, mas por outro, aumentam seu valor nutritivo (PACIULLO et al., 2011).

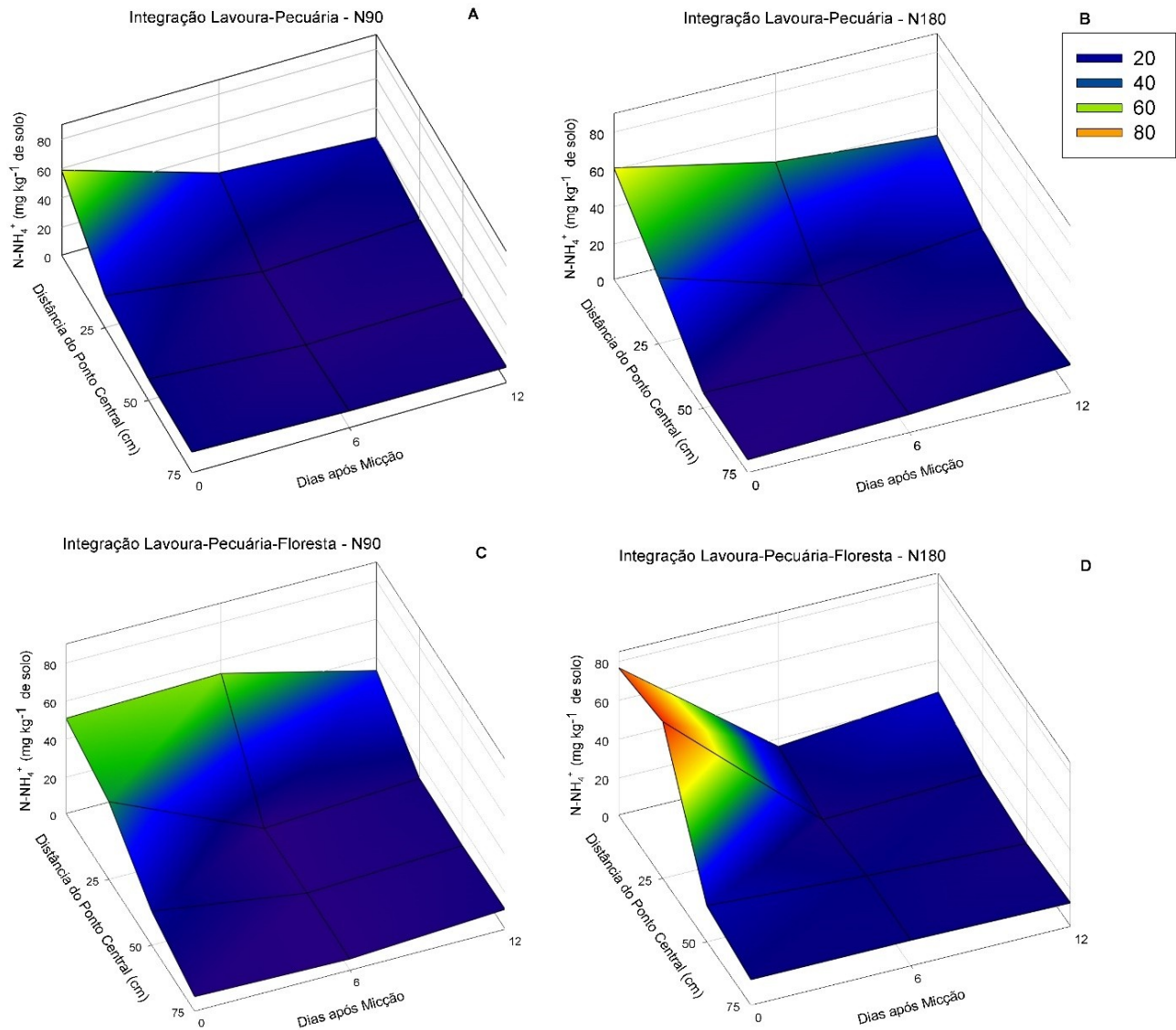
4.3.2 Comportamento do amônio e do nitrato no solo em pontos de deposição de urina

Diferenças significativas entre os tratamentos SIPA x N x DPC x DAM foram observadas na concentração de N no solo, tanto para amônio ($p= 0,0111$) como para nitrato ($p= 0,0005$), durante o período de avaliação. Para tanto foi feito o desdobramento desta interação, observando o comportamento do N-mineral dentro de cada sistema e sua respectiva dose de N (Figura 17).

A concentração de amônio ($N-NH_4^+$) no solo em pontos de micção foi influenciada pela presença ou não de árvores (ILP ou ILPF) (Figura 17). No sistema Lavoura-Pecuária (ILP) não se observa grande variação dos valores $N-NH_4^+$ em função das diferentes doses de N aplicadas (90 e 180 kg de N ha^{-1}) e, em função dos dias de avaliação após a micção (Figura 17A e 17B). Conforme o esperado, constatou-se maiores valores de amônio no ponto central de micção no dia zero os quais diminuem com o avanço das datas de amostragem. Aumentos dos teores de amônio no sistema Integração Lavoura-Pecuária não foram observados além dos 25 cm a partir do ponto central de micção.

Já nas áreas que continham árvores, Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) constataram-se maiores variações nos teores de $N-NH_4^+$ no solo (Figura 17C e 17D). Na menor dose de adubação nitrogenada aplicada (N90) observam-se (Figura 17C) aumentos na concentração de $N-NH_4^+$ no solo no ponto central de micção, os quais prolongam-se até o sexto dia de amostragem 6 (53,03 mg kg^{-1} de solo) sendo que esses valores diminuem apenas no décimo segundo dia de amostragem (16,5 mg kg^{-1} de solo).

Figura 17 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $P = 0,0111$) após a micção, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas Integrados, Lavoura-Pecuária (ILP, A e B) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF, C e D) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente) em função dos dias após a micção e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Os maiores valores de N-NH_4^+ são observados no sistema com presença de árvores quando aplicada a maior dose de N (ILPF-N180) (Figura 17D), o qual apresentou no dia zero de amostragem a concentração de 76,8 mg kg^{-1} de solo no ponto central e de 81,8 mg kg^{-1} de solo na distância de 25 cm apresentando valores inferiores nos demais dias e distâncias avaliadas, significando uma diminuição mais rápida destes teores no solo nesta situação, mesmo com a aplicação do dobro da quantidade de N como fertilizante na pastagem.

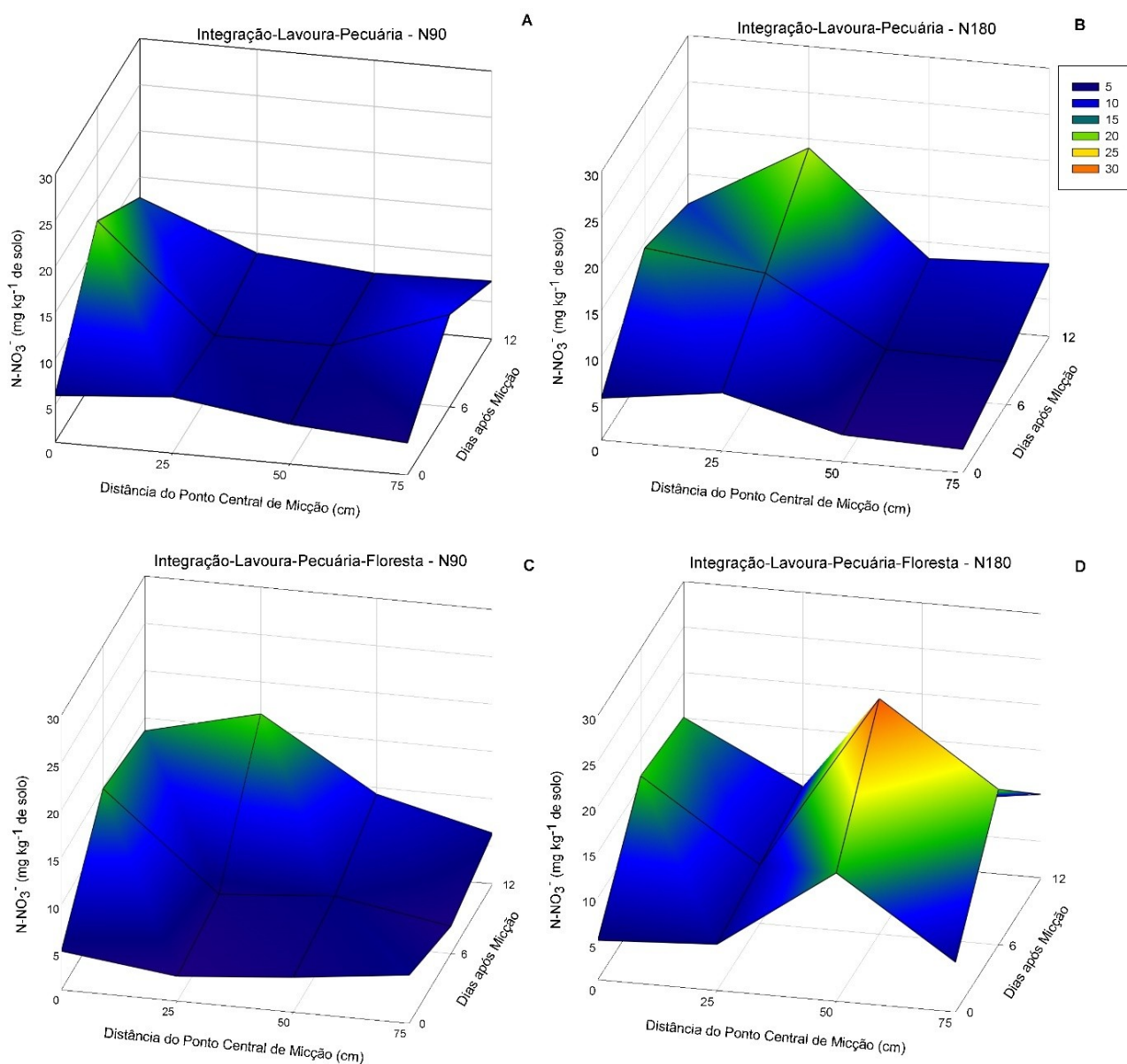
Os maiores teores de N-NH_4^+ no solo, observados no sistema Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) provavelmente são resultantes da menor extração de nutrientes

neste sistema (Figura 17C e D). Nas áreas com presença de árvores (ILPF), em que as plantas forrageiras foram conduzidas sob efeito de sombreamento, foi observado um menor crescimento das plantas e, conseqüentemente, menor acúmulo de matéria seca (MS; 2231,9 kg ha⁻¹), quando comparado com o sistema Lavoura-Pecuária (4124,9 kg ha⁻¹) o que pode ter resultado em maior concentração de N no solo, pela menor extração de N pelas plantas. Carpinelli et al. (2020), verificaram neste mesmo experimento, uma redução de 42% de entrada de luz no sistema com árvores. Essa menor produção de forragem em áreas sombreadas se deve principalmente pelo menor perfilhamento e estiolamento das plantas (BELESKY et al., 2011; PONTES et al., 2017). Oliveira et al. (2007), Paciullo et al. (2011) e Franchini et al. (2014), encontraram menor produção de forragem de *Urochloa decumbens*, *brizantha* e *ruziziensis*, respectivamente, devido à presença do componente arbóreo. Ainda, essa menor produção de forragem reflete em menor produção animal verificada no sistema Lavoura-Pecuária-Floresta (109 kg ha⁻¹) em relação à Lavoura-Pecuária (228 kg ha⁻¹) (CARPINELLI et al., 2020).

Portanto, sistemas integrados se tornam mais complexos à medida que são incluídos mais componentes no sistema, como é o caso do ILPF, onde o componente arbóreo pode alterar alguns fatores, como temperatura e umidade do solo, devido às mudanças de entrada de luz no sistema. Esse fato pode alterar características químicas, físicas e biológicas do solo (DIAS et al., 2007; SALES et al., 2018; ASSIS et al., 2019), modificando o fluxo de nutrientes e, conseqüentemente, seus teores no solo (Figura 17C).

De forma geral, assim como para o amônio, as alterações nos teores de N-NO₃⁻ ocorreram até a distância de 25 cm do ponto central de micção. Aumentos dos teores de nitrato, além desta distância, foram observados apenas nas áreas com presença de árvores na maior dose de adubação nitrogenada (ILPF-N180). No sexto dia após micção foi observado um pico nos teores de nitrato no solo na distância de 50 cm do ponto central de amostragem (26,88 mg kg⁻¹ de solo). O que parece não ser efeito do N-urinário, uma vez que na distância de 25 cm não ocorreram alterações nos teores de N-NO₃⁻. Observa-se ainda que nas Figuras 18B (ILP-N180) e 18C (ILPF-N90), na distância 25 cm, os valores aumentam até o 12º dia de avaliação, indicando que o N-urina ainda estava em processo de transformação.

Figura 18- Concentração de nitrato (N-NO_3^- ; mg kg^{-1} ; $p = 0,0005$) após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP, A e B) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF, C e D) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente) em função de dias após a micção de urina e distância do ponto central de micção. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Em ambos os sistemas avaliados a maior aplicação de N ($180 \text{ kg de N ha}^{-1}$) no sistema proporcionou maior disponibilidade de amônio ($>80 \text{ mg de N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ de solo; Figura 17D), e de nitrato no solo ($19 \text{ mg de N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ de solo; Figura 18D), possivelmente pela maior quantidade de N via urina adicionada ao solo, 98% a mais no N180. Grande parte do N ingerido pelo animal como alimento (80-95%) é devolvido ao solo como urina (HAYNES; WILLIAMS, 1993) com taxas equivalentes entre 200 a 2000 kg de N ha^{-1} (SELBIE et al., 2015). No presente estudo, houve entrada de 2,05 e 4,06 g N L^{-1} de urina, estando dentro da faixa de concentração de N presente na urina de bovinos, que pode variar de teores abaixo de 1 e acima de 20 g N L^{-1} (BETTERIDGE et al., 1986,

WHITEHEAD, 1995; BETTERIDGE et al., 2013; DIJKSTRA et al., 2013).

Após a micção, a área afetada pelo N-urinário é dependente de vários fatores que podem modificar a área de atuação do N provindo da urina, como: i) o volume urinário; ii) concentrações de soluto; iii) textura do solo (relacionada à capacidade de troca por cátion); iv) teor de umidade do solo; v) topografia, vi) tempo; i) tipo de vegetação e, i) arquitetura radicular (MARSDEN et al., 2016).

Assim, um ponto de micção de urina pode ser definido pela área úmida (onde a urina é diretamente depositada) e pela área efetiva, que inclui tanto a área úmida quanto a área periférica fora dela que é afetada pelo N urinário, principalmente via extensão das raízes das plantas e difusão de N do solo (SIEBEL et al., 2015). De acordo com Doak (1952), a área de resposta da pastagem afetada pelo N-urinário pode se estender até o dobro da área úmida inicial. Decau et al. (2003), mostraram que a borda de difusão do N-urinário não excede 20 cm além da área úmida inicial em três tipos de solo. Cichota et al. (2018) sugerem que uma zona da borda de aproximadamente 10-15 cm é afetada significativamente pela disseminação do N-urinário. Tais resultados corroboram com os resultados obtidos neste estudo, onde a atuação do N-urinário não ultrapassou 25 cm do ponto central de micção/área úmida.

Parte do N depositado no ponto de micção, pode ser absorvida por plantas que crescem na área circundante (BENNETT, 2016; BUCKTHOUGHT et al., 2016). A disseminação lateral do N na urina, além da área úmida inicial, pode reduzir a carga efetiva de N dos pontos de urina, permitindo que mais plantas acessem o N depositado e conseqüentemente, reduzir as perdas por lixiviação (CICHOTA et al., 2018). A extensão dessa interação com plantas, além da área úmida inicial foi citada em diversos trabalhos, levando como base a recuperação de N pela pastagem, sendo entre 100 e 250 mm fora da borda úmida inicial (DEENEN; MIDDELKOOP, 1992; DECAU et al., 2003; BUCKTHOUGHT et al., 2015; SELBIE et al., 2015).

Desta forma, Bryant et al. (2019), avaliando o fluxo lateral do N-urinário, verificou que a maior recuperação de N da pastagem ocorreu no ponto de micção (zona A=área úmida), sendo que 22% do N-urinário (18% na zona B e 4,2% na zona C) foi recuperado por plantas fora da área úmida, possivelmente devido ao movimento lateral do N inorgânico do solo ou captação de N pelas plantas nas zonas B e C que tinham estruturas de enraizamento dentro da zona A.

Considerando que a área efetiva de uma mancha de urina pode ser definida pela área úmida (onde a urina é diretamente adicionada ao solo) somada a área periférica fora dela que é afetada pelo N urinário (SIEBEL et al., 2015), e que o raio de atuação do

N-urinário neste estudo não ultrapassa os 25 cm, temos uma área efetiva de 0,197 m². Este valor está de acordo com os observados em diversos trabalhos, onde a área efetiva varia de 0,03 a 1,1 m² para bovinos (SIEBEL et al., 2015).

Portanto, sabendo a área efetiva de uma mancha de urina (25 cm), a concentração de N-urinário contido na urina (2,05 e 4,06 g N L⁻¹ de urina; Tabela 3) e o volume médio de urina por micção (1,9 L; HAYNES; WILLIAMS, 1993), é possível calcular a taxa de aplicação de N-urinário por hectare. No presente estudo, a taxa de aplicação de N via urina foi, portanto, de 197,7 e 391,6 kg de N ha⁻¹, no tratamento N90 e N180, respectivamente. Uma metanálise realizada por Selbie et al. (2015), indicou taxas médias de concentração de N-urina de 345 kg de N ha⁻¹ para bovinos de corte, o que no tratamento N90 estaria abaixo da média, possivelmente devido ao nível de adubação nitrogenada estar abaixo da exigida pelas plantas forrageiras em estudo (ALVES, 2002). Entretanto, é importante ressaltar que a taxa de N-urinário pode atingir até 2.000 kg N ha⁻¹, sendo dependente da dieta a qual o animal está submetido (OENEMA et al., 1997; SELBIE et al., 2015).

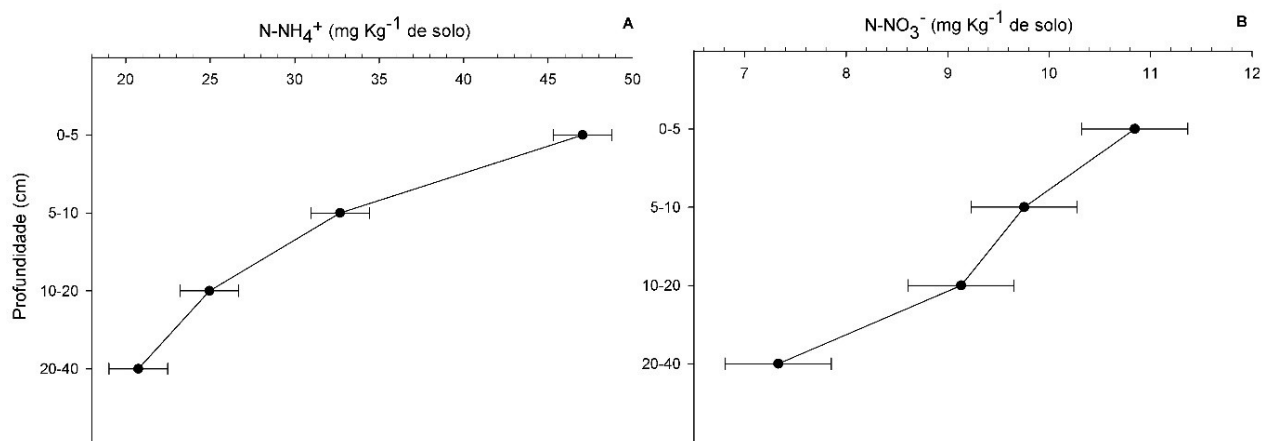
De forma geral, os valores máximos de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ (81,8 e 19,02 mg N kg⁻¹ de solo, respectivamente), encontrado nos pontos de micção de urina (Figura 17 e 18), mantiveram-se bem abaixo dos valores encontrados na literatura, que de acordo com Haynes e Williams (1993), ficam entre 100-250 mg N kg⁻¹ após a aplicação de urina, na camada de 0-10 cm. Sordi et al. (2014), também verificaram valores entre 200-250 mg NH₄⁺ kg⁻¹, em um Cambissolo, um dia após a aplicação de urina e de N-NO₃⁻ entre 40-50 mg kg⁻¹. Isso possivelmente seja reflexo do teor de N contido na urina, que foi de 9,3 g N L⁻¹ (SORDI et al., 2014) e de 11,5 g N L⁻¹ (HAYNES; WILLIAMS, 1993), enquanto neste estudo, os valores de N, ficaram entre 2,05 e 4,06 g N L⁻¹ de urina (Tabela 3), resultando em menores teores, tanto de amônio como de nitrato no solo.

Analisando o comportamento do N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ nas Figuras 17 e 18, observa-se que N-NH₄⁺ apresenta teores superiores no dia zero, ou seja, no momento inicial da avaliação, diminuindo os teores nos demais dias. O contrário acontece com o N-NO₃⁻, onde é possível verificar que os teores aumentam no decorrer do tempo e apresentam valores superiores no sexto e/ou no décimo segundo dia de avaliação, indicando a ocorrência de nitrificação. Esse efeito é bem característico da rápida hidrólise da urina, onde em poucas horas após o contato do N-urinário com o solo é verificado altos valores de N-NH₄⁺, sendo que até 90% da ureia presente na urina é hidrolisada em até 48 h (WILLIAMS; HAYNES, 1994). Em consequência do processo de nitrificação (WHITEHEAD, 2000), observa-se o aumento nos teores de N-NO₃⁻, não sendo possível

verificar quando ocorre a diminuição nesses teores, o que poderia indicar o cessamento da nitrificação do N-NO_3^- . Esse efeito possivelmente esteja relacionado a umidade do solo, devido à ocorrência de precipitações (que somam 66,4 mm; Figura 15B) que ocorreram após a segunda coleta (6º dia). A umidade do solo faz com que ocorra a retomada do processo de nitrificação (BISSANI et al., 2008).

Ainda houve efeito significativo da profundidade de solo sobre os teores de amônio e nitrato no solo (Figura 19). Em ambas as formas químicas ocorreu diminuição nos teores conforme aumenta a profundidade de solo, sendo que a camada de 0-5 e 20-40 cm, apresenta 10,9 mg e 7,3 mg de $\text{N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ de solo, respectivamente (Figura 19B). Enquanto o N-NH_4^+ apresenta na camada de 0-5 e 20-40 cm, 47 e 20,8 mg de $\text{N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ de solo, respectivamente (Figura 19A). Esses resultados indicam ausência de lixiviação destas formas químicas em pontos de micção de urina e podem estar relacionados principalmente, a extração de N pelas plantas forrageira e imobilização pelos microrganismos do solo, como já discutido anteriormente, mas também pela umidade do solo no momento da avaliação, principalmente falando em solo com textura arenosa.

Figura 19 - Concentração de amônio (N-NH_4^+ mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) de nitrato (N-NO_3^- mg kg^{-1} ; $p=0,0000$) em diferentes profundidades do solo em pontos de micção de urina de bovinos em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\text{N-NH}_4^+ \pm 1,74$; $\text{N-NO}_3^- \pm 0,53$). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



A umidade do solo é fator determinante na lixiviação ou não dos nutrientes disponíveis na solução do solo, principalmente N na forma de N-NO_3^- . O N-NO_3^- , por ser um ânion, não fica retido nas cargas do solo, isso acarreta em maior probabilidade de ser carregado junto com a água em um fluxo vertical. De acordo com Hanney e Willian (1993), após a nitrificação do N, a maior parte do N-mineral, principalmente na forma de N-NO_3^- , poderá ser lixiviado em condições de excesso de precipitação. Desta forma, mesmo com a precipitação de 66,4 mm antes da terceira coleta (12º dia), tal precipitação não foi suficiente para que ocorresse perdas por lixiviação, mantendo esse nutriente nas

camadas superficiais do solo. De acordo com Li et al. (2012), com o maior número de poros vazios em condições de solo seco, ocorre menor infiltração da água e carregamento de nutrientes disponíveis na solução do solo, ao contrário acontece em solos úmidos.

Em se tratando de um solo arenoso, o N-NH_4^+ também é pouco retido nas cargas negativas do solo, devido ao baixo teor de argila e MO geralmente encontrado nestes solos (WHITEHEAD, 2000), o que aumenta a possibilidade de perdas também desta forma química. A textura do solo é, portanto, fator importante em se tratando do comportamento do N, pois influencia diretamente na dinâmica da água no solo. Em solos arenosos, em média, 70% da sua composição é constituído por teores de areia que os tornam altamente permeáveis, com baixa capacidade de retenção de água (78% de areia, no solo em estudo), baixos teores de matéria orgânica ($\text{MO} = 24,96 \text{ g dm}^{-3}$) e, conseqüentemente, apresentam baixa capacidade de adsorção de cátions (HE et al., 2014; CENTENO et al., 2017).

Portanto, solos arenosos, por apresentarem menor capacidade de manter os nutrientes como o N-NH_4^+ ligado as partículas do solo, pode movimentar-se junto com a água no solo no sentido descendente, aumentando esses teores nas camadas mais profundas do solo, o que não é verificado neste trabalho, uma vez que ocorre uma significativa diminuição nestes teores conforme aumenta-se a profundidade do solo (Figura 19A). Este resultado pode estar associado a vários fatores: i) baixa precipitação registrada no período inicial de avaliação (Figura 15; até o dia seis), ii) absorção de N pelas plantas, e iii) imobilização pelos microrganismos) que combinados mantiveram o N-NH_4^+ nas camadas superficiais do solo.

A maior concentração de N nas camadas superficiais do solo, encontrado neste trabalho (Figura 19), é uma importante fonte de nutrientes para as plantas, sendo a região de maior atuação das raízes destas forrageiras (*Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*). Neste sentido, Dunbabin et al. (2003), sugerem que a alta densidade de enraizamento no solo é importante para reduzir as taxas de lixiviação de N-NO_3^- em solos com textura grossa e mostra a capacidade de arquiteturas radiculares muito ramificadas de esgotar rapidamente o N-NO_3^- da zona de mineralização da superfície. Assim, mesmo em solos arenosos, com menor capacidade de retenção de água e fluxo mais dinâmico de água e nutrientes, um sistema de enraizamento altamente ramificado e denso, como é o caso do azevém + aveia, provavelmente maximizam a captura e utilização de nutrientes do solo, evitando que este nutriente seja perdido do sistema pelo processo de lixiviação. A captação de N pelas plantas forrageiras em pontos de micção de urina pode chegar a

300-700 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (DURING; MCNAUGHT, 1961; BALL et al., 1979; LEDGARD, 2001).

Williams et al. (1989), avaliando durante um período de 7 meses após um evento de micção, descobriram que a grande maioria de N e K absorvidos pelas plantas de pastagem se originava da superfície de 12 cm de profundidade do solo. Isso coincidiu com a distribuição das raízes das plantas no perfil do solo, porque 86% das raízes na superfície de 30 cm foram encontradas nos 15 cm superiores (HANNEY; WILLIAN, 1993). Assim, nutrientes que estão abaixo dessa zona preferencial de absorção, a longo prazo, podem se tornar suscetíveis a perdas pelo processo de lixiviação, e ainda mais propício devido as características do solo, da qual o mantém livre na solução do solo, podendo ser carregado para maiores profundidades junto com a água em eventos de alta precipitação.

Por outro lado, alguns estudos demonstram quantidades significativas de N-urina que se move a maiores profundidades pelos fluxos preferências através dos macroporos do solo. Menneer et al. (2008), trabalhando com lisímetro (450 mm de profundidade), mediram perdas de 109 kg de N-NH₄⁺ em uma aplicação de urina (775 kg N ha⁻¹) e atribuíram esse resultado ao fluxo de macroporos e alta precipitação/drenagem. Silva et al. (2000), detectaram movimento de N-NH₄⁺ abaixo de 700 mm em lisímetros tratados com urina, atribuindo-o ao fluxo de macroporos. Embora o N seja lixiviado principalmente como N-NO₃⁻, as perdas de N-NH₄⁺ podem ser significativas em algumas circunstâncias se o solo não conseguir retê-lo nas camadas superiores do solo (SIEBEL et al., 2015).

Apesar de vários estudos demonstrarem perdas de N, tanto na forma de N-NO₃⁻ como de N-NH₄⁺, em pontos de micção de urina devido à alta taxa de entrada de N nesses locais, neste estudo não foi possível verificar perdas de N nestas formas químicas. Este resultado sugere que quando ocorre alta demanda de N pelas plantas (principalmente forrageiras como aveia e azevém) de alto potencial produtivo, as perdas podem ser insignificantes ou nem existirem. Devido a ciclagem constante de nutrientes entre os componentes solo-planta-animal, o N permanece disponível nas camadas superiores do solo, sendo reciclado constantemente. Ainda, devido à baixa precipitação (8,8 mm) ocorrido nos primeiros dias de estudo (até o sexto dia) possivelmente permitiu a difusão do N no solo e atraso na nitrificação, atuando de forma positiva na manutenção do N no solo. Bryant et al. (2019), verificaram a presença de N-urinário, fora da área úmida, 1 dia após a aplicação do N-urinário, indicando que dentro de 24 h ocorre movimentação do N, via fluxo lateral de macroporos (WILLIAMS et al., 1989), corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

4.3.3 Comportamento do fósforo no solo em pontos de deposição de urina

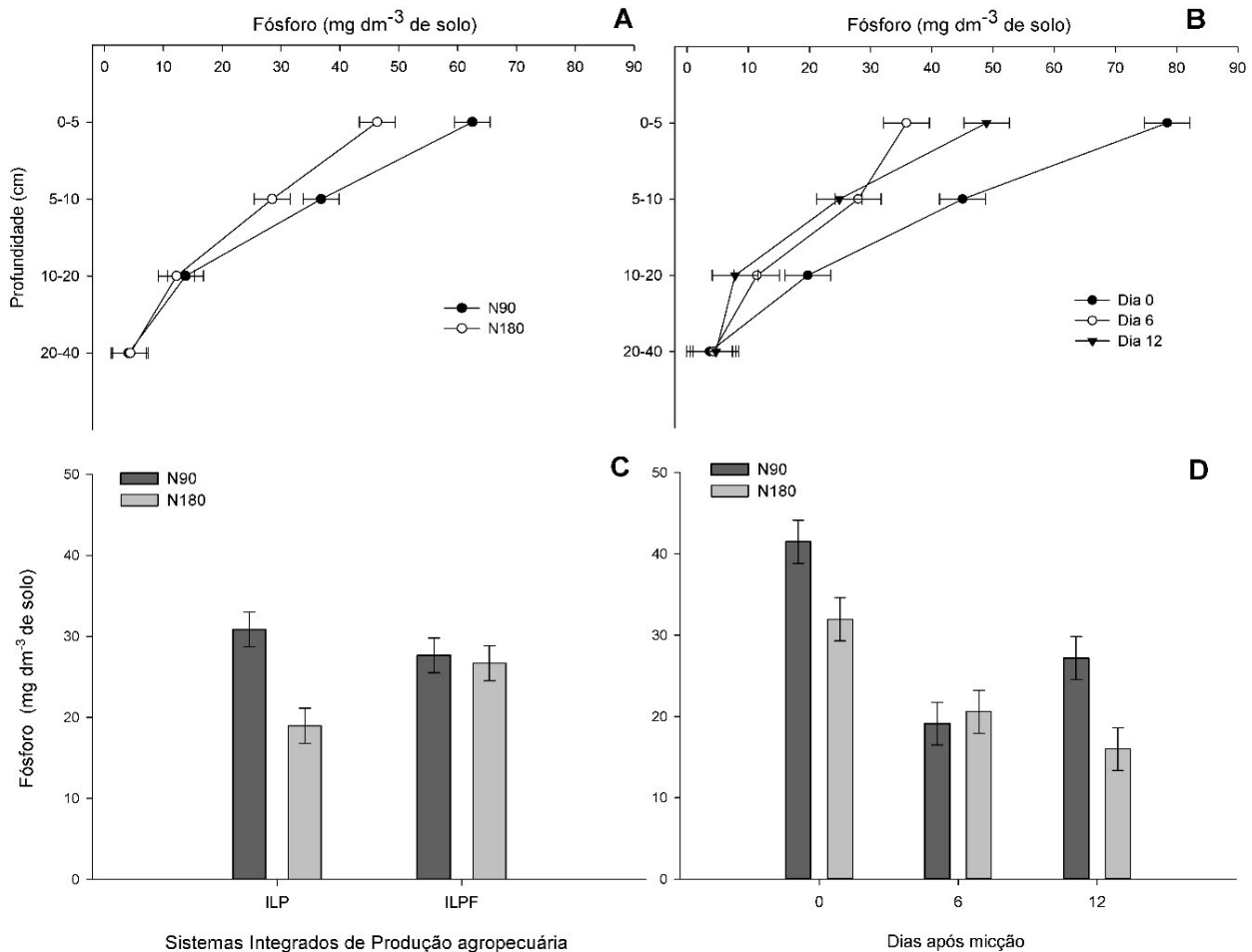
Para os teores de P no solo em pontos de micção houve interação entre os fatores níveis de N x profundidade de solo ($p=0,0305$); dias após micção x profundidade de solo ($p=0,0000$); SIPA x níveis de N ($p= 0,0119$); e, níveis de N x dias pós micção ($p=0,0353$) (Figura 20).

O menor teor de fósforo verificado no tratamento ILP N180 (19 mg dm^{-3} de solo; Figura 20 C) e nas camadas superficiais do solo 0-5 e 5-10 cm, no tratamento N180 (Figura 20 A), apresentando, $46,4$ e $28,5 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente. Esse resultado possivelmente seja em virtude da maior extração de P pelas plantas, intensificado pelo pastejo em resposta ao estímulo da maior dose de N aplicado nessas áreas. O N estimula a produção de MS e conseqüentemente ocorre uma maior extração de P, diminuindo sua disponibilidade no solo. Além disso, a aplicação de N pode estimular o crescimento e reprodução de microrganismos no solo, da qual imobiliza temporariamente este nutriente. Santi et al. (2003), avaliando doses de nitrogênio no acúmulo de biomassa da aveia preta sobre o comportamento do P, verificaram que o N aumentou a ciclagem do P em relação ao tratamento sem adubação nitrogenada. Esses resultados confirmam a influência do N na dinâmica de disponibilidade do P.

Por outro lado, o tratamento com árvore e que recebeu 180 kg de N (ILPF N180; $26,7 \text{ mg dm}^{-3}$) o teor de P não diferiu do tratamento ILPF N90 ($27,68 \text{ mg dm}^{-3}$; Figura 20C), esse resultado pode estar relacionado ao sombreamento causado pelas árvores, diminuindo o crescimento da pastagem (CARPINELLI et al., 2020) e conseqüentemente, diminui a absorção de P pelas mesmas, mesmo com maior nível de N sendo aplicado.

É importante destacar que apesar do tratamento N180 apresentar uma deposição de fósforo 116% maior no solo, em relação ao tratamento N90, isso não refletiu em maior teor de P no solo neste tratamento (Figuras 20A, 20C e 20D), reflexo da complexa dinâmica do P que ocorre no solo.

Figura 20- Concentração de Fósforo (P (mg dm^{-3}) no solo após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha^{-1} ; N90 e N180, respectivamente), dias após a micção e distância do ponto central de micção. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($\pm 3,05$ (A); $\pm 3,74$ (B); $\pm 2,16$ (C); $\pm 2,64$ (D). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



A urina de bovinos concentra uma pequena quantidade de fósforo, sendo que o maior retorno ocorre via fezes (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Em estudo realizado por Carpinelli et al. (2020), neste mesmo ano e experimento, avaliando o retorno de P ao solo, através das fezes, verificou-se que houve um retorno de 9 g kg^{-1} . Enquanto na urina a concentração de P foi de $0,05$ e $0,12 \text{ g L}^{-1}$ tratamento N90 e N180, respectivamente (Tabela 3). Outros estudos também verificaram esse baixo retorno de P através da excreção de urina (SAFLEY et al., 1984; HAYNES; WILLIAMS, 1993; RODRIGUES et al., 2008). Se considerarmos que em média um animal adulta urina 10 vezes por dia, e em cada evento produz 1,9 L litros de urina (HAYNES; WILLIAMS, 1993), temos uma entrada de P de $0,95$ e $2,28 \text{ g}$ em N90 e N180, respectivamente.

Apesar dos resultados deste estudo evidenciaram a baixa contribuição da urina na ciclagem de P, é importante destacar que a urina contém na sua composição

outros nutrientes que podem servir de substrato para o crescimento de microrganismos que solubilizam o P. De acordo com Haynes e Williams (1993), além da urina ser rica em N e K, ainda fornece água, enxofre e carbono lábil, os quais estimulam a atividade microbiana, podendo imobilizar temporariamente outros nutrientes, como é o caso do P e ao mesmo tempo estimular a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) liberando P na solução do solo. Portanto, o P imobilizado na biomassa microbiana do solo são considerados altos, e isso tem grande relevância, pois o P permanece em forma lábil no solo, podendo ser absorvido pelas plantas (MARTINAZZO et al., 2007, SOUZA et al., 2008).

Em sistemas integrados de produção agropecuária o P tem sua disponibilidade aumentada em consequência dos benefícios oferecidos pelo pastejo. Além do pastejo contribuir na redistribuição de resíduos culturais das plantas, também modifica o fluxo de nutrientes através da deposição de fezes e urina (NASCIMENTO JR.: CAVALCANTE, 2001). Ainda, o pastejo contribui para o crescimento radicular (SOUZA et al., 2009), o que pode promover a formação de macro e bioporosidade, favorecendo a migração de P para camadas mais profundas do solo, assim como, a absorção de P pelas raízes, favorecendo sua mineralização e aumento na sua disponibilidade (COSTA et al., 2014). De acordo com Souza et al. (2010), gramíneas submetidas a pastejo, apresentam maior quantidade de raízes, promovendo aumento de solo rizosférico, da qual promove alta exsudação de compostos orgânicos favorecendo a biomassa microbiana, e por consequência podem atuar de forma positiva na disponibilidade de P.

Ainda, a matéria orgânica do solo, contribui de forma efetiva na disponibilidade de P, sendo considerado o segundo nutriente mais abundante da MOS, representando de 1 a 3% (MORREIRA; SUIQUEIRA, 2006). Neste ponto de vista, a MO (2,5% camada 0-20 cm) na área em estudo é considerada alta (PAVINATO et al., 2017), o que possivelmente justifica além de outros fatores, essa maior disponibilidade de P nas primeiras camadas do solo (Figuras 20A e 20B). De acordo com Batista et al. (2018), a disponibilidade de P está ligada à atividade biológica e à mineralização da matéria orgânica. Conte et al. (2002), verificaram que a maior atividade microbiana na camada superficial do solo sob sistema plantio direto (SPD) aumenta o estoque de P orgânico armazenado na biomassa microbiana, o qual pode se tornar disponível via mineralização.

Ainda outros fatores podem afetar a disponibilidade de P no solo, como é o caso do pH. De acordo com Batista et al. (2018), o fósforo pode ter sua disponibilidade diminuída em condições de acidez, como é o caso do pH (4,97 na camada 0-20cm) verificado neste estudo. No entanto, de acordo com o manual de adubação e calagem

para o Estado do Paraná (PAVINATO et al., 2017) os valores de P são classificados como muito altos ($33,35 \text{ mg dm}^{-3}$ média das profundidades 0-20 cm, Figura 2A e 2B). Portanto é possível dizer que o pH, verificado neste trabalho, pode não estar limitando a disponibilidade de P para as plantas.

Em relação aos dias, foram verificados valores superiores de fósforo no dia 0 (zero) até a camada 0-20 cm (Figura 20B), o que pode estar relacionada à área de molhamento da urina, ou seja, até onde a urina possa ter chegado em profundidade. Essa hipótese é coerente ao considerarmos que nos demais dias de avaliação não houve efeito significativo nas camadas 5-10 e 10-20 cm de profundidade e que o fósforo é um elemento de baixa mobilidade (SANTOS et al., 2008). E por se tratar de um solo arenoso onde a taxa de infiltração é maior.

Observa-se ainda alterações nos teores de fósforo no dia 12 (Figuras 20B e 20D). Esse efeito possivelmente esteja relacionado a umidade do solo, devido à ocorrência de precipitações (que somam 66,4 mm; Figura 15B) que ocorreram após a segunda coleta (6º dia), mesmo efeito verificado para o N. A umidade do solo faz com que ocorra a retomada e intensificação da atividade biológica do solo, fazendo com que o P seja liberado e se torne disponível na solução do solo.

O P apresenta baixa mobilidade no solo, assim ao observar as figuras 2A e 2B, fica evidente que o P não é lixiviado nas condições em que o experimento foi conduzido. Observa-se um gradiente decrescente de concentração de P, sendo que a camada 20-40 o valor de P é 1189 vezes menor em relação a camada superficial do solo (0-5 cm). Costa et al. (2014), também verificaram aumento do P total até 20 cm de profundidade em áreas pastejadas em 20 e 40 cm e em áreas sem pastejo. Os autores ainda destacam que o ILP promoveu aumentos nos estoques de P lábil, tanto na forma orgânica quanto na inorgânica, e uso mais eficiente de P pela produção de carne e adição a produção de soja.

4.3.4 Comportamento do potássio no solo em pontos de deposição de urina

Diferenças significativas entre os tratamentos SIPA x N x DPC x DAM ($p=0,0173$), foram observadas na concentração de K no solo durante o período de avaliação. Para verificar o efeito destas interações, comportamento do potássio está apresentado dentro de cada sistema e sua respectiva dose de N (Figura 21).

De modo geral, o comportamento do K apresentou similaridade entre os

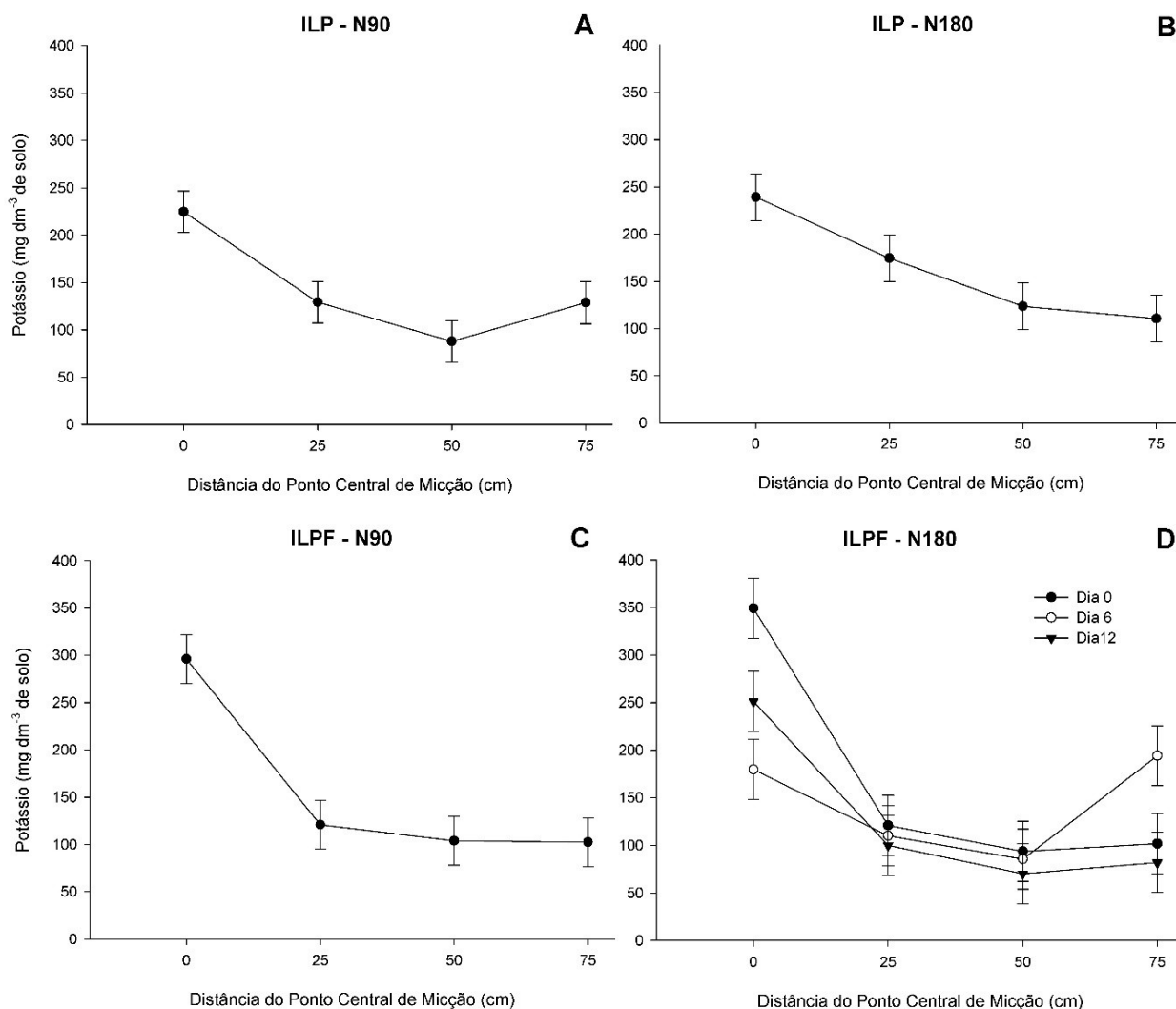
diferentes tratamentos avaliados (Figura 21). Sendo que a maior concentração se deu no ponto central de micção (0 cm), em todos os tratamentos, apresentando, 225, 239, 296, e 260 mg dm⁻³ em ILP-90N, ILP-N180, ILPF-N90 e ILPF-N180, respectivamente. Neste sentido, o K parece não se deslocar no sentido horizontal até a distância 25 cm, região mais próxima do ponto central avaliada e, portanto, o efeito da entrada de K em pontos de micção ser somente na área úmida. Esse efeito possivelmente esteja relacionado com as características do próprio nutriente, uma vez que, os íons se movimentam no meio líquido (BARBER, 1962), e a sua disponibilidade depende muito da sua difusão no solo (GIANELLO; MIELNICZUK, 1981; ROSOLEM et al., 2003).

Em estudo realizado por Neves et al. (2009), avaliando a mobilidade de potássio, em diferentes solos, sob a adição de doses de cloreto, verificaram que o deslocamento lateral máximo de K foi de 8,4 cm no Cambissolo Húmico Alumínico típico; o menor deslocamento (6,4 cm) ocorreu no Latossolo Vermelho distrófico, quando da aplicação da maior dose (200 kg ha⁻¹ K₂O). O autor justifica que esse menor deslocamento verificado no Latossolo, seja provavelmente devido à menor capacidade de retenção de água desse solo (54 g kg⁻¹) em relação aos demais. Neste estudo possivelmente o K da urina, tenha atingido outras distâncias além daquelas observadas, no entanto, menor que 25 cm.

Esses dados estão de acordo os dados apresentados no capítulo anterior, uma vez que a maior concentração se deu no ponto central de micção, não havendo efeito aparente de deslocamento do K no sentido horizontal do solo até a distância 25 cm.

Entre as combinações de manejo o ILPF-N90 e ILPF-N180 foram os que apresentaram os maiores teores de K no solo (Figura 21C e 21D). Este resultado, possivelmente seja em virtude da menor extração deste nutriente pela pastagem. Neste tratamento houve baixa produção de biomassa vegetal no período de avaliação, sendo constatado a produção de 2231,9 kg ha⁻¹ de matéria seca (MS), quando comparado com a Lavoura-Pecuária (4124,9 kg ha⁻¹).

Figura 21 - Concentração de Potássio (K ($mg\ dm^{-3}$) no solo após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 $kg\ N\ ha^{-1}$; N90 e N180, respectivamente), em função dos dias após a micção e distância do ponto central de micção. Barras verticais indicam o erro padrão da média, $\pm 22,11$ (A); $\pm 24,76$ (B); $\pm 25,81$ (C); $\pm 31,60$ (D). UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



A presença de árvores leva a mudanças nas características estruturais do pasto (por exemplo, redução na densidade de perfilho), e conseqüentemente menor produção de MS (PONTES et al., 2017), levando a uma menor extração de nutrientes pelas plantas. Carpinelli et al. (2020), constataram neste experimento que a sombra fornecida pelas árvores no ILPF foi de 42% em relação ao ILP, o que afetou o desenvolvimento da pastagem e conseqüentemente a produção animal. É importante destacar que além do efeito do sombreamento, ainda houve em 2018, menor ocorrência de precipitações durante o inverno (Figura 15A).

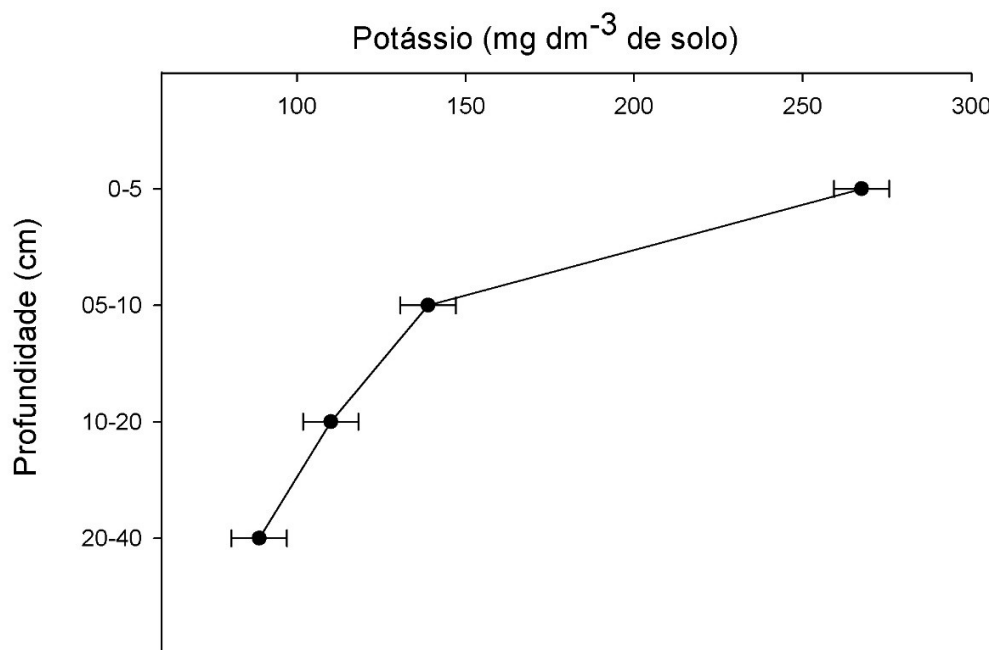
No tratamento com presença de árvores e que recebeu a maior dose de N (ILPF-N180), figura 21D, foi o único tratamento que teve efeito dos dias em relação as

distâncias do ponto central. A maior concentração de K no solo se deu no ponto central de micção no dia 0, com diluição no dia seis e aumento no dia 12. Ainda verificasse um aumento nos teores de K na distância 75, o que parece não ser influenciado pelo K adicionado via urina, uma vez que não se verifica alterações nas distâncias 25 e 50 cm do ponto centra de micção.

Ainda houve diferença estatística para os teores K em relação aas profundidades de solo (Figura 22). Constata-se que o maior de teor de K é encontrado nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, com 267,5 e 138, 8 mg dm⁻³ de solo, respectivamente.

Neste estudo, por se tratar de um solo com textura arenosa, esperava-se que houvesse indícios de lixiviação de K, o que não é evidenciado. É, no entanto, constatado a formação de um gradiente decrescente de concentração de K a partir da superfície, esse mesmo efeito também foi verificado em trabalho realizado por Ferreira et al. (2009) em ILP.

Figura 22 - Concentração de Potássio (mg dm⁻³) no solo após a micção de urina, em pastagem de *Lolium multiflorum* + *Avena strigosa*, conduzidas em dois diferentes sistemas integrados, Lavoura-Pecuária (ILP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e duas doses de nitrogênio (90 e 180 kg N ha⁻¹; N90 e N180, respectivamente), em função da profundidade de solo. Barras verticais indicam o erro padrão da média, $\pm 8,20$. UTFPR, Pato Branco – PR, 2021.



Alguns fatores podem explicar este resultado, aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo. A umidade do solo no momento da micção é uma delas, uma vez que o solo estava seco (Figura 15A e 15B) e possivelmente tenha favorecido a permanência do K nas camadas superficiais do solo. Quanto maior o número de poros vazios em condições de solo seco, menor é a infiltração da água e

carregamento de nutrientes disponíveis na solução do solo (LI et al., 2012).

A água adicionada ao solo (por exemplo; precipitação) é outro fator que favorece a movimentação de nutrientes no sentido descendente (ERNANI et al., 2007). Neste sentido, a precipitação de 66,4 mm que ocorreu entre os dias 6 e dia 12 de avaliação, possivelmente não foi suficiente para que ocorresse perdas por lixiviação. Em trabalho realizado por Rosolem et al. (2006), em Latossolo Vermelho Distroférico, a lixiviação de K em profundidade foi proporcional à chuva aplicada, entretanto, uma chuva de 50 mm não levou este nutriente para abaixo de 8 cm.

Outro fator importante a considerar, é a manutenção constante de plantas (pastagem ou grãos) crescendo no sistema agrícola para a manutenção da ciclagem de nutrientes. As plantas fazem um papel essencial no ciclo dos nutrientes, por retirá-los do subsolo e liberá-los na camada superficial do solo. As gramíneas, por sua vez, desempenham um papel ainda mais importante, pelas características próprias de seus sistemas radiculares. Assim, a absorção dos nutrientes pelas plantas diminui a possibilidade desses elementos permanecerem na solução do solo e serem passíveis de perdas.

4.4 Conclusões

A aplicação de maiores doses de adubação nitrogenada (180 kg N ha^{-1}), provoca aumento na concentração de nitrogênio, fósforo e potássio excretado via urina.

A entrada de nitrogênio e potássio no solo através da micção aumenta os teores no solo de amônio, nitrato e potássio.

Os teores mais elevados de nitrogênio, fósforo e potássio nos pontos de urina foram encontrados nos sistemas com presença de árvores, uma vez que nestes sistemas a absorção de nutrientes pelas plantas forrageiras foi reduzida, devido ao efeito sombreamento, levando a uma redução de produção de matéria seca da pastagem. Além disso, o fósforo apresentou maiores teores no solo em áreas sem a presença de árvores (ILP) e que recebeu a menor dose de N.

O amônio é convertido a nitrato até o sexto dia após a micção, o potássio e o fósforo apresentam valores elevados logo após a micção e parece receber influência de fatores ambientais (precipitação), na sua disponibilidade no decorrer do tempo.

Os maiores teores de nitrogênio e potássio no solo são observados no ponto onde ocorreu a micção (ponto central), e a área de atuação/difusão do N-urinário não

ultrapassa os 25 cm do ponto central de micção, sendo que o potássio permanece no ponto central, não havendo difusão lateral até a distância de 25 cm. Devida a baixa contribuição de fósforo na urina animal, não ocorre alterações nos teores no solo, nem mesmo no ponto central de micção.

As maiores concentrações de amônio, nitrato, fósforo e potássio foram observadas nas camadas superficiais do solo (0-10 cm). E, embora, mesmo que nesta situação não tenha sido observada lixiviação de nitrato, amônio e potássio nos pontos de urina amostrados até uma profundidade de 40 cm, alerta-se que a adoção de sistemas de produção mais intensificados devido a inclusão de animais em pastejo e o aumento de adubações nitrogenadas devem ser conduzidos em condições que propiciem elevadas extrações de nutrientes do solo pelas plantas, visando a redução do risco de perdas, principalmente se tratando de um solo com textura arenosa.

5 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada realizada na pastagem provoca aumento na concentração de nitrogênio e potássio excretado via urina.

Áreas de pastagens conduzidas com maior pressão de pastejo (baixa altura-10cm), apresentam menores teores de nitrogênio e fósforo, e maior teor de potássio no solo em pontos de micção.

Teores mais elevados de nitrogênio, fósforo e potássio foram observados nos pontos de urina no sistema arborizado, uma vez que nestes sistemas a absorção de nutrientes pelas plantas forrageiras foi reduzida devido ao sombreamento das mesmas, levando a uma redução de produção de matéria seca da pastagem. Ainda, para o fósforo a menor dose de nitrogênio ocasionou maior concentração de fósforo no solo, devido a menor extração pelas plantas pela menor disponibilidade de nitrogênio.

Os maiores teores de nitrogênio e potássio no solo são observados no ponto onde ocorreu a micção de urina (ponto central), sendo que a área de atuação/difusão do N-urinário não ultrapassa os 25 cm do ponto central de micção, e a atuação do potássio permanece no ponto central, não havendo difusão lateral até a 25 cm. Devida a baixa contribuição de fósforo na urina animal, não ocorre alterações nos teores no solo, nem mesmo no ponto central.

O amônio é convertido a nitrato até o sexto dia após a micção, o potássio e o fósforo apresentam valores elevados logo após a micção e parece receber influência de fatores ambientais (precipitação), na sua disponibilidade no decorrer do tempo.

As maiores concentrações de amônio, nitrato, fósforo e potássio foram observadas nas camadas superficiais do solo (0-10 cm). E embora, neste estudo não tenha sido observada lixiviação de nitrato, amônio e potássio nos pontos de urina amostrados, em nenhum dos solos estudados, até uma profundidade de 40 cm, alerta-se que a adoção de sistemas de produção mais intensificados (com a inclusão de animais em pastejo e o aumento de adubações nitrogenadas) devem ser conduzidos em condições que propiciem elevadas extrações de nutrientes do solo pelas plantas, visando a redução do risco de perdas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliações como estas desenvolvidas neste trabalho, são de extrema importância para a compreensão da dinâmica dos nutrientes que ocorre em pontos de deposição de urina em sistemas integrados de produção agropecuária, permitindo traçar estratégias para um melhor aproveitamento dos nutrientes, maiores acoplamentos entre eles, maior ciclagem e menores perdas, seja qual for a via.

Os sistemas integrados, tendem a crescer a cada ano, tendo como estratégia o aumento do sequestro do carbono, tendo em vista, a demanda mundial por sistemas produtos que visam a sustentabilidade e, portanto, essas interações devem ser bem compreendidas.

Ainda, devido à escassez de estudo desta natureza, principalmente no Brasil, é importante que novas pesquisas venham a ser realizadas e que estas abrangem outros aspectos que são fundamentais para o entendimento das interações que ocorre no solo. Nosso estudo, apesar de amplo, carece de mais informações para melhor compreensão dos resultados encontrados, assim, se faz necessário dados referente a atividade microbológica no solo, bem como a atividade enzimática, que é fator chave para a compreensão dessas dinâmicas; entrada de carbono no sistema, fator primordial que regula a vida e todas transformações que ocorrem no solo; e, a função e comportamento das raízes diante desses processos. E ainda, outras formas e entradas e saídas de nutrientes no sistema.

Estudos relacionados a dinâmica do nutriente originário de excretas bovinas em pastagens, em especial com urina, são escassas o que justifica as avaliações feitas no presente trabalho. É importante destacar a necessidade de estudar, em longo prazo, o efeito destas excretas em outros sistemas agropecuários, em diferentes intensidades de pastejo e incluindo outras variáveis no âmbito do estudo para melhor compreender os efeitos e suas interações.

Ainda que a urina contribua de forma pouco expressiva em quantidade de P que retorna por esta via, fica evidente que está influencia na dinâmica do P e por isso deve ser melhor estudada. A compreensão da dinâmica e das reações que ocorre no solo pela entrada de substrato, como a urina, modifica toda uma cadeia e que influenciará em maior e menor disponibilidade de nutrientes.

Apesar de maiores teores de P serem encontrados em áreas menos intensivas, a ciclagem de P foi potencializada em condições de maior pressão de pastejo, visto que a produção de feijão após a saída dos animais neste tratamento foi maior

(RHODEN, 2019), além disso, deve ser considerado a maior carga animal, e em consequência a maior produção de carne (BARRIGA, 2019). Portanto, uso mais eficiente do fósforo, nitrogênio e potássio.

Ainda, o manejo da adubação dentro dos sistemas produtivos são significativamente importantes, uma vez que intensificam a ciclagem de nutrientes e que por sua vez podem a longo prazo, diminuir entradas de fertilizantes diminuindo custos de produção e tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis.

Fica evidente deste modo, que a dinâmica dos nutrientes nos sistemas integrados de produção agropecuária se dá de forma diferenciada, devido aos processos de decomposição, mineralização, e ciclagem de nutrientes ocorrerem de forma acelerada. Portanto, essas características de alta demanda de nutrientes pelas plantas, alta atividade biológica (estimulada pela entrada constante de fezes urina animal), e de fertilidade (MO, CTC) são fatores chaves para manter a ciclagem de nutrientes dentro do sistema e assim, impossibilitar que os mesmos possam ser perdidos pelo processo de lixiviação, mesmo em solos de textura arenosa.

REFERÊNCIAS

- AIOLFI, R. B. Intensidade de pastejo e épocas de adubação nitrogenada em sistemas integrados de produção agropecuária. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2018.
- ALHAMMADI, M.S.; AL-SHROUF, A.M. Irrigation of sandy soils, basics and scheduling. In: Goyal, A., and Asif, M., Editors, Crop production. InTechOpen, London, UK. p. 49-67, 2013.
- ALMEIDA, R.G. et al. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: BUNGENSTAB, D.J. 2º Ed. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Brasília, 2012. p. 88-94
- ALVARENGA, R. C. et al. Sistema integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, v.31, n. 15, p. 59-67, 2010.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n. 6, p.711-728, 2013.
- ALVAREZ, S. et al. Whole-farm nitrogen cycling and intensification of crop-livestock systems in the highlands of Madagascar: an application of network analysis. Agricultural systems, v.126, p. 25-37, 2014.
- ALVES, F. V.; DA SILVA, V. P.; JUNIOR, N. K. Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019. (1). v. 1p. 207–223. E-book.
- ALVES, R. C. et al. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p.1406-1415, 2015.
- ALVES, S.J. Dinâmica de crescimento de aveia-preta (*Avena strigosa* L.) sob diferentes níveis de nitrogênio e ajuste de modelo matemático de rendimento potencial baseado em parâmetros climáticos. Universidade Federal do Paraná (131 pp.), 2002.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Dados 2020 – Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: http://anda.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Principais_Indicadores_2020.pdf. Acesso em 11 de maio de 2021.
- ANGHINONI, I, et al. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no subtropical brasileiro. Tópicos em Ciência do Solo, v. 8, p. 325-380, 2013.
- ANGHINONI, I., ASSMANN, J.M.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. Informações Agronômicas, v.136, p.1-10, 2011.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. In: ARAUJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. (eds.). Tópicos em Ciência do Solo, 8ª ed., UFV, Viçosa, p.221-278, 2013.
- ASSIS, P. C. R. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de

integração lavoura-pecuária- floresta. *Revista Agrarian*, v. 12, p. 57-70, 2019.

ASSMANN, J. M. Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração. 151f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre – RS. 2013.

ASSMANN, J.M. et al. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, p. 21-33, 2017.

ASSMANN, T. S. et al. Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 8). In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 123-144, 2018.

ASSMANN, T. S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 675-683, 2003.

ASSMANN, T. S.; SOARES A. B. Migrando da adubação de culturas para a adubação de sistemas por meio da Integração Lavoura Pecuária. *Informativo integrar*, n. 15, p. 1-4, 2016.

ASSMANN, T.S. et al. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. In: JAMHOUR, J.; ASSMANN, T. S. (Org.). *Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4.* 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 67–84

BAIS, H. P. et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol*, v. 57, p. 233-266, 2006.

BALBINO, L. C. et al. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura Pecuária-Floresta (ILPF). *International Plant Nutrition Institute*, v. 9, n. 138, p. 1-18, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A.A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v. 39, p.1925-1933, 2009.

BALL, P.R. et al. Nitrogen balance in urine-affected areas of a New Zealand pasture. *Agronomy Journal*, v.7, p.133-175, 1979.

BARNEZE, A. S. et al. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 92, p. 394-397, 2014.

BARRIGA, P. A. B. Produção de novilhos em pastagem de inverno com diferentes intensidades de pastejo e adubação nitrogenada em integração lavoura-pecuária. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2019.

BATISTA, M.A. et al. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T. et al. comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, pp. 113-162, 2018.

BAUER, A.; COLE, C.V.; BLACK, A.L. Soil property comparisons in virgin grassland between grazed and nongrazed management systems. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p. 176-182, 1987.

BELESKY, D.P.; BURNER, D.M.; RUCKLE J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and Forage Science*, v. 66, p. 370-380, 2011.

BENNETT, C. The Effect of Diverse Pasture and Italian Ryegrass on Urine Patch Size and Plant Nitrogen Uptake. Bachelor of Agricultural Science (Hons). Lincoln University (64 pp.), 2016.

BERNARDON, A. altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de Integração Lavoura Pecuária. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BETTERIDGE, K. et al. Why we need to know what and where cows are urinating—a urine sensor to improve nitrogen models. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, v. 75, p. 119-124, 2013.

BETTERIDGE, K.; ANDREWES, W. G. K.; SEDCOLE, J. R. Intake and excretion of nitrogen, potassium and phosphorus by grazing steers. *Journal of Agricultural Science*, v.106, p. 393-404, 1986.

BEZERRA, L.R. et al. Estimate in the Production of Microbial Protein in Ruminants By Purine Derivates. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 06, p. 7-14, 2010.

BISSANI, C. A. et al. Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas, Porto Alegre: Metrópole, 2º Ed., 2008. 344p.

BONA FILHO, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. 2002. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BORTOLLI, M. A. Adubação de sistemas: antecipação de adubação nitrogenada para a cultura do milho em integração lavoura-pecuária. Tese (Doutorado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2016.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos (SAE-PR). Produção nacional de fertilizantes. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em 11 de maio de 2021.

BRISTOW, A.W.; WHITEHEAD, D.C.; COCKBURN, J.E. Nitrogenous constituents in the urine of cattle, sheep and goats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 59, p. 387-394, 1992.

BRYANT, R. H. et al. Can alternative forages substantially reduce N leaching? findings from a review and associated modelling. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 63, p. 3-28, 2019.

BUCKTHOUGHT, L.E. et al. Fertiliser and seasonal urine effects on N₂O emissions from the urine-fertiliser interface of a grazed pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 58, p. 311-324, 2015.

BUCKTHOUGHT, L.E. et al. Plant N uptake in the periphery of a bovine urine patch: determining the 'effective area'. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 59, p. 122-140, 2016.

- BUNGENSTAB, D. J. Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável, Brasília, DF, Embrapa, 2012. 80 p.
- CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*, v.162, p.145-173, 2013.
- CAMPBELL, C. A. et al. Nitrate leaching as influenced by fertilization in the Brown soil zone. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 73, n. 4, p. 387-397, 1993.
- CAMPOS, P. et al. Eficiência de aquisição de fósforo relacionada às características da raiz: a simbiose micorrízica é um fator chave para o cultivo do trigo e da cevada?. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, n. 752, p. 01-21, 2018.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.et al. (Ed.). Fertilidade de solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.
- CARPINELLI, S. et al. Spatial and Temporal Distribution of Cattle Dung and Nutrient Cycling in Integrated Crop–Livestock Systems. *Agronomy*, v. 10, p. 672-691, 2020.
- CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 88, n. 2, p. 259-273, 2010.
- CERETTA, C. A. Dinâmica do nitrogênio em sistemas de produção na região Sul do Brasil. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 32-50. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 28; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).
- CICHOTA, R. et al. Lateral spread affects nitrogen leaching from urine patches. *Science of The Total Environment*, v. 635, p.1392-1404, 2018.
- CIOTTA, M.N. et al. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 33, p. 1161-1164, 2003.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 26, p. 925-930, 2002.
- CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.
- COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 229- 235, 2009.
- COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.
- COSTA, S.E.V.G.A. et al. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.190, p. 43-51, 2013.

COTTA, S. P. O solo como ambiente para a vida microbiana. IN: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F.D. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 21 p.

CQFS/RS-SC, 2016. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11 ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre.

CRUZ, P. et al. Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the south of Brazil. *Rangeland Ecology and Management*, v. 63, n. 3, p. 350-358, 2010.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; Volatilização de amônia com a aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DECAU, M.L.; SIMON, J.C.; JACQUET, A. Fate of urine nitrogen in three soils throughout a grazing season. *Journal of Environmental Quality*, v. 32, p.1405-1413, 2003.

DEENEN, P.J.A.G.; MIDDELKOOP, N. Effects of cattle dung and urine on nitrogen uptake and yield of perennial ryegrass. *Neth. Journal of Agricultural Science*, v. 40, p. 469-482, 1992.

DIAS, P. F. et al. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim survenola crescido em consórcio. *Ciência Rural*, v. 37, p. 352-356, 2007.

DIJKSTRA, J. et al. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. *Animal*, v. 7, p. 292-302, 2013.

DOAK, B.W. Some chemical changes in the nitrogenous constituents of urine when voided on pasture. *Journal of Agricultural Science*, v. 42, p. 162-171, 1952.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 105, p. 282-293, 2015.

DUBEUX, J.C.B, JR.; SOLLENBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W.; SCHOLBERG, J.M.; SANTOS, H.Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Science*, v. 47, p. 915-928, 2007.

DUNBABIN, V.; DIGGLE, A.; RENGEL, Z. Is there an optimal root architecture for nitrate capture in leaching environments? *Plant, Cell and Environment*, v. 26, p. 835–844, 2003.

DURING, C.; MCNAUGHT, K. J. Effects of cow urine on growth of pasture and uptake of nutrients. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 4, p. 591-605, 1961.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 11 de março de 2021.

ERNANI, P. R. et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.393-402, 2007.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

- ERNANI, P.R. Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira. Lages, 2003. 76p.
- FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v.79, n.1, p. 69-116, 1997.
- FERREIRA, E. V. D. O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 161-169, 2011.
- FERREIRA, E. V. O. et al. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, 2009.
- FINCH, H.; SAMUEL, A.; LANE, G. Soils and soil management, in: Lockhart & Wisemans *Crop Husbandry Including Grassland*, pp. 37-62, 2014.
- FLOSS, E. L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo. Universidade de Passo Fundo. 2011. 5 ed. 734p.
- FOLLMANN, D. D. Dinâmica do nitrogênio mineral no solo e produção vegetal em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de integração lavoura-pecuária. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação, Guarapuava, 2015.
- FONSECA, D.M. da.; MARCELINO, K.R.A. Reciclagem de nutrientes sob condições de pastejo. Tópicos especiais em forragicultura (apostila). Viçosa – MG, 2002. 38 p.
- FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Science Society of America Journal*, v. 68, p. 215-224, 2004.
- FRANCHINI, J.C. et al. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p. 1006-1013, 2014.
- FRANZLUEBBERS, A. J., STUEDEMANN, J. A. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil and Tillage Research*, v.100, p. 141-153, 2008.
- GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; GOBBI, K.F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S.N. et al. (Ed.). *Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta*, Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 189p.
- GATIBONI, L. C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. 2003. 231 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica dos Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- GATIBONI, I. C; SILVA, L. S.; ANGHINONI, I. Diagnostico da fertilidade do solo e recomendação de adubação. IN: *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina – CQFS/RS-SC*. 11 ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre, 2016. 376p.
- GAXIOLA, R. A.; EDWARDS, M.; ELSER, J. J. A transgenic approach to enhance phosphorus use efficiency in crops as part of a comprehensive strategy for sustainable

agriculture. *Chemosphere*, v. 84, p. 840-845, 2001.

GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 55, p. 693-704, 2015.

GILES, C. D. et al. Response-based selection of barley cultivars and legume species for complementarity: Root morphology and exudation in relation to nutrient source. *Plant Science*, v. 255, p. 12-28, 2017.

GONSALVES NETO, J.; CARVALHO, J.A. Comportamento eliminatório de ruminantes. *PUBVET*, v. 4, n. 5, p. 738-743, 2010.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, v. 49, p.119-199, 1993.

HAYNES, R.J., WILLIAMS, P.H. Changes in soil solution composition and pH in urineaffected areas of pasture. *Journal of Soil Science*, v. 43, p. 323-334, 1992.

HE, Y. et al. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rainfed condition. *Scientific reports*, v. 4, p. 1-12, 2014.

HEUCK, C. et al. Effects of long-term nitrogen addition on phosphorus cycling in organic soil horizons of temperate forests. *Biogeochemistry*, v. 39, p. 378, 2018.

HINSINGER, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil*, v. 237, p.173-195, 2001.

HOLLAND, P.T., DURING, C. Movement of nitrate-N and transformations of urea-N under field conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 20, p. 47-488, 1977.

HOOGENDOORN, C.J. et al. Nitrogen concentration in the urine of cattle, sheep and deer grazing a common ryegrass/cocksfoot/white clover pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 53, p. 235-243, 2010.

KAYSER; M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass and Forage Science*, v. 60, p. 213-224, 2005.

KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2º Ed., 2012. p. 431.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Conceitos e modalidades da estratégia de Integração Lavoura-Pecuária Floresta. *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 21-33. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

KOPPEN, W.; GEINGER, R. *Klimate der Erde (Wall-map)*. Verlag Justus Perthes, Gotha. (Wall-map). 1928.

KUNRATH, T.B. et al. Management targets for continuously stocked mixed oat x annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop-livestock system. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 71-76, 2014.

LEDGARD, S. F. Nitrogen cycling in low input legume based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant Soil*, v. 228, p. 43-59, 2001.

LESSA, A. C. R. et al. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agriculture*

Ecosystems and Environment, v. 190, p. 104-111, 2014.

LEVINSKI-HUF, F. Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2018.

LI, F.Y. et al. Effects of nitrogen load variation in animal urination events on nitrogen leaching from grazed pasture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 159, p. 81-89, 2012.

LOSS, A. et al. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, 2014.

LUPATINI, G.C. et al. Avaliação da mistura de aveia preta e Azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 1939-1943, 1998.

MALCOLM, B.J. et al. The effect of four different pasture species compositions on nitrate leaching losses under high N loading. *Soil Use and Management*, v. 30, p. 58-68, 2014.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L. A adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 887-896, 2007.

MARIA, L. S. et al. Contribuição dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no sequestro de carbono. *Revista Espacios*, v. 38, n. 31, p. 13-17, 2017.

MARKLEIN, A. R.; HOULTON, B. Z. Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, v. 193, p. 696-704, 2012.

MARSDEN, K. A.; JONES, D. L.; CHADWICK, D. R. The urine patch diffusional area: An important N₂O source? *Soil Biology & Biochemistry*, v. 92, p. 161-170, 2016.

MARTHA JUNIOR, G. B. Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia. 2003. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 31, p. 563-570, 2007.

MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; CARVALHO, P. C. F. Integração soja bovinos de corte no sul do Brasil (Boletim técnico). 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 102 p.

MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil*, v. 181, n.1, p.71-82, 1996.

MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E.; TRITSCHLER, J.P. II. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures: Soil considerations. In: JOOST, R.E.; ROBERTS, C.A. (ed.), *Nutrient cycling in forage systems*. Potash and Phosphate Institute and the Foundation for Agronomic Research, Manhattan, Kansas, p. 213-229, 1996.

MAXWELL, T. M. R. et al. Italian ryegrass swards reduce N leaching via greater N

uptake and lower drainage over perennial ryegrass cultivars varying in cool season growth rates. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 61, p.1-14, 2018.

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F. J.; JENKINSON, D. S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Ed.). *Nitrogen in agricultural systems*. Madison: American Society of Agronomy, 2008. p. 205-562.

MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 435-443, 2003.

MENNEER, J.C.; LEDGARD, S.; SPROSEN, M. Soil N process inhibitors alter nitrogen leaching dynamics in a pumice soil. *Australian Journal of Soil Research*, v. 46, p. 323-331, 2008.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração. A experiência brasileira. In: *Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira*, 1982, Londrina. **Anais...**Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.289-303

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.165-178.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. *Better Crops*, v. 93, n. 4, p. 9-11, 2009.

MONAGHAN R.M. et al. The impacts of nitrogen fertilisation and increased stocking rate on pasture yield, soil physical condition and nutrient losses in drainage from a cattlegrazed pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 48, p. 227-240, 2005.

MONAGHAN, R.M.; SMITH, L.C.; KLEIN, C.A.M.D. The effectiveness of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) in reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions from a grazed winter forage crop in Southern. *New Zealand. Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 75, p. 29-38, 2013.

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

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *INTERNATION GRASSLAND CONGRESS*, 6., 1952. **Proceedings...** Pensylvania: State College Press, 1952. p. 1380-1395.

MYERS, R.J. et al. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. *The biological management of tropical soil fertility*, p. 81-116,1994.

NASCIMENTO JR. D.; CAVALCANTE, M. A. B. *Reciclagem de excreções animais na pastagem*. Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.11

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrentes da adição de doses de cloreto de potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.25-32, 2009.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses e de cloreto de potássio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 25-32, 2009.

- NEVES, M. C. P. Como os microrganismos do solo obtêm energia e nutrientes. In: CARDOSO, E. J. N. B.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.) Microbiologia do solo. SBCS. Campinas, 1992, p. 17-31.
- OENEMA, O. et al. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use and Management*, v. 13, p. 288-295, 1997.
- OENEMA, O.; VELTHOF, G. L. YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use and Management*, v. 13, n. p. 288-295. 1997.
- OLANDER, L. P.; VITOUSEK, P. M. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry*, v. 49, p. 175-190, 2000.
- OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS-BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.95-103, 2008.
- OLIVEIRA, T.K. et al. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, p. 748-757, 2007.
- ORWIN, K. H. et al. Impact of bovine urine deposition on soil microbial activity, biomass and community structure. *Applied Soil Ecology*, v.44, p. 89-100, 2010.
- ORWIN, K.H. et al. Impact of bovine urine deposition on soil microbial activity, biomass, and community structure. *Applied. Soil Ecology*, v. 44, p. 89-100, 2010.
- OSAKI, F. Calagem e adubação. 2 ed., Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, Campinas, 1991.
- PACIULLO, D.S.C. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1176-1183, 2011.
- PAVAN, M. A. et al. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina, IAPAR 1992. 40p (Circular 76).
- PAVINATO, P. S. et al. Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR. 2017.
- PIOVESAN, G. et al. Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.42, n.2, p. 206-211, 2012.
- PIVA, J. Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no subtropical brasileiro. Ph.D. thesis. Universidade Federal do Paraná, 2012.
- PIVA, J. T. et I. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferrasol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 87-93, 2014.
- PONTES, L.D.S. et al. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. *Grassland Science*, v. 63, p. 29-35, 2017.
- PRIMAVESI, O. et al. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 3, p. 683-690, 2006.

- RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Ceres; Potafos, Piracicaba, 1991.
- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2011. p. 420.
- RAIJ, B.V. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 563-588.
- RHEINHEIMER, D. S. Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos. 2000. 210 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, p.151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, n. 3, p. 589-597, 2000.
- ROCHA, F. et al. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.12, n.1, p. 54-61, 2008.
- ROCHETTE, P. et al. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 84, n.1, p. 71-80, 2009.
- ROCHETTE, P. et al. Soil nitrous oxide emissions following deposition of dairy cow excreta in Eastern Canadá. Journal of Environmental Quality, v. 43, p. 829- 841, 2014.
- RODRIGUES, A.M. et al. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, p. 990-997, 2008.
- ROSOLEM, C. A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.1033-1040, 2006.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 355-362, 2003.
- ROTZ, C.A. et al. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. Crop Science, v. 45, p. 2139-2159, 2005.
- RUBAEK, G. H. et al. Organic Phosphorus in Soil Size Separates Characterized by Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance and Resin Extraction. Soil Science Society of America Journal, v. 63, n. 5, p. 1123, 1999.
- RUSSELLE, M. P. Nutrient cycling in pasture. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 235-266.
- SAFLEY, L.M.; BARKER, J.C.; WESTERMAN, P.W. Characteristics of fresh dairy manure. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, v.27, n.2, p.1150-1153, 1984.
- SALES, A. et al. Carbono orgânico e atributos do solo sob manejo agropecuário

sustentável na amazônia legal. *Colloquium Agrariae*, v. 14, p. 1-15, 2018.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I – Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 27, p.1075-1083, 2003.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, L. et al. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. *Revista Ceres*, v. 62, n.1, p. 107-116, 2015.

SARTOR, L. R. Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento e valor nutritivo de grãos de milho em sistema de integração lavoura-pecuária em resposta ao nitrogênio. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Curitiba, PR, 2012.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Avaliação do estado nutricional da pastagem: índice nutricional de nitrogênio. *Semina*, Londrina, v.35, n.1, p. 449-456, 2014.

SCHUMACHER, M. V. et al. Análise de nutrientes para a sustentabilidade. *Revista da Madeira*, n. 83, ano 14, 2004.

SELBIE, D.R.; BUCKTHOUGHT, L.E.; SHEPHERD, M.A. The Challenge of the Urine Patch for Managing Nitrogen in Grazed Pasture Systems. *Advances in Agronomy*, v. 129, p. 229-292, 2015.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H.; COLE, C.V. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p. 362-365, 1987.

SILVA, R.G. et al. Effect of macropore flow on the transport of surface-applied cow urine through a soil profile. *Australian Journal of Soil Research*, v. 38, p.13-23, 2000.

SINGH, R.S.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, J.S. Nitrogen mineralization in dry tropical savanna: Effects of burning and grazing. *Soil Biology and Biochemistry*, v.23, p.269-273, 1991.

SINSABAUGH, R. L. et al. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters*, v. 11, p. 1252-1264, 2008.

SMECK, N, E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma*, Amsterdam, v. 36, p. 185-199, 1985.

SNOW, V.O.; WHITE, T.A. Process-based modelling to understand which ryegrass characteristics can increase production and decrease leaching in grazed grass-legume pastures. *Crop and Pasture Science*, v. 64, p. 265-284, 2013.

SORDI, A. et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 94-103, 2014.

SOUTO, M.S. Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura-pecuária: Produção de leite e características do solo. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006. 80p. (Tese de Mestrado).

SOUZA, E.D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 34, p. 79-88, 2010.

SOUZA, E.D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, p.1273-1282, 2008.

SOUZA, E.D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 33, p.1829 -1836, 2009.

SPOHN, M.; ERMAK, A.; AND KUZYAKOV, Y. Microbial gross organic Phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates a ³³P isotopic dilution study. *Soil Biol. Biochem*, v. 65, p. 254-263, 2013.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493- 502, 2011.

TATE, K. R. et al. Temporal variations in some plants and soil P pools in two pasture soils of widely different P fertility status. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 132, p. 219- 232, 1991.

TEDESCO, M.J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais, Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil and Tillage Research*, v. 124, p. 57-67, 2012.

TOKURA et al. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002.

TOWNSEND, C. R. Nitrogênio em sistemas pastoris. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2011. p.29. (Embrapa Rondônia. Documentos, 138).

VALADARES, R. et al. Effect of Replacing Alfalfa Silage with High Moisture Corn on Ruminant Protein Synthesis Estimated from Excretion of Total Purine Derivatives. *Journal of Dairy Science*, v.82, p. 2686-2696, 1999.

WHITE, R. Nitrate leaching in heterogeneous field soils is difficult to predict because the rate of leaching is influenced not only by the complexity of water movement through the soil, but also by the spatial and temporal variability in the available nitrate pool. *Journal of Hydrology*, v. 107, p. 31-42, 1989.

WHITEHEAD, D. Nitrogen., in: *NUTRIENT Elements in Grass land. Soil-PlantAnimal Relationships.*, UK: CABI Publishing, Wallingford. chapter 5, pp. 95-125, 2000.

WHITEHEAD, D.C.1995. *Grassland Nitrogen*. CAB International, Wallingford, UK.

WILLIAMS, P. H.; HEDLEY, M. J.; GREGG, P. E. H. Uptake of potassium and nitrogen by pasture from urine-affected soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 32, p. 415-421, 1989.

WILLIAMS, P.H.; HAYNES, R.J. Comparison of initial wetting pattern, nutrient concentrations in soil solution and the fate of ¹⁵N-labelled urine in sheep and cattle urine patch areas of pasture soil. *Plant and Soil*, v. 162, p. 49-59, 1994.

WOODS, R.R. et al. ^{15}N recoveries from ruminant urine patches on three forage types. *Plant Soil*, v. 417, p. 453-465, 2017.

WOODS, R.R. et al. ^{15}N recoveries from ruminant urine patches on three forage types. *Plant and Soil*, v. 417, p. 453-465, 2017.

XAVIER, D. F. et al. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1214-1219, 2011.

YAMADA, T.; ROBETS, T.L. Potássio na Agricultura Brasileira. Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 2005. 841 p

ZAVASCHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros. Piracicaba, 2010. p.92.