

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LURRYAN TARINI KAGIMURA**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ANTECIPAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM  
SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS**

**PATO BRANCO**

**2022**

**LURYN TARINI KAGIMURA**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ANTECIPAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS**

**Systems level-fertilization: the anticipation of nitrogen and potassium in sandy and clayey soils**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Orientadora: Tangriani Simioni Assmann

Coorientador: Coorientadora: Laíse da Silveira Pontes

**PATO BRANCO**

**2022**



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

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**Direitos Autorais de** . <https://orcid.org/0000-0002-5136-503X> 

Conteúdo protegido sobretudo nos termos da Lei de Direitos Autorais *nº* 9.610/98.

A obra de é licenciada pela Creative Commons

[https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt\\_BR](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR) *RAtribuição4.0Internacional*.

**Você tem o direito de:**

**Compartilhar** – copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato

**Adaptar** — remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial.

O licenciante não pode revogar estes direitos desde que você respeite os termos da licença.

**De acordo com os termos seguintes:**

**Atribuição** — Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas.

Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

**Sem restrições adicionais** — Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.

Este trabalho está depositado no Portal de Informação em Acesso Aberto da UTFPR  
(<https://portaldeinformacao.utfpr.edu.br/PIAA>), junto ao Repositório Institucional da UTFPR  
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/RIUT>.



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



LURYAN TAIRINI KAGIMURA

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ANTECIPAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SOLOS ARENOSOS E ARGILOSOS.**

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: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 30 de Agosto de 2022

Tangriani Simioni Assmann, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

Dr. Andre Brugnara Soares, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Julian Junio De Jesus Lacerda, Doutorado - Universidade Federal do Piauí (Ufpi)

Dr. Rafael Felipe Ratke, Doutorado - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Ufms)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/09/2022.

*“Dedico aos meus pais Edinéia e Henrique”*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Aos meus pais Henrique e Edinéia por tudo que fizeram e fazem por mim. Por sempre me apoiarem e me incentivarem, independente do momento e da circunstância.

A toda a minha família, especialmente à minha irmã Francini por ser meu primeiro exemplo de pesquisadora. Também agradeço ao Daniel, Alice e Lívia por sempre estarem disponíveis quando precisei. Muito obrigada por tudo!

Ao meu namorado Ricardo por todo apoio sempre e por ser um exemplo de pessoa e profissional para mim. Agradeço também a sua família por me acolherem.

Aos melhores amigos que a pós-graduação me proporcionou. Rosangela C. de Lima, Pablo A. B. Barriga, Igor K. Severo e Angélica C. Zatta que acompanharam desde sempre. Muito obrigada por todos os ensinamentos, todas as tardes divertidas, todas as discussões, todos os mates, dias de laboratório, ensinamentos, risadas... Sou eternamente grata!

À professora Dra. Tangriani S. Assmann por ter aceito me orientar no doutorado. Obrigada pela confiança, por toda orientação e por todos os conhecimentos repassados em todos esses anos. Sou muito grata por ter tido essa oportunidade!

Aos novos amigos que a pós-graduação também me proporcionou, Renan M. Biazatti e Patrícia M. Almeida pelo auxílio nas análises de laboratório, pelo companheirismo em todas as reuniões, ajudas na escrita, pelas risadas e brincadeiras.

Ao LABSOLOS da UTFPR Campus-Pato Branco pelo auxílio na construção do conhecimento e nas análises efetuadas para esse trabalho.

À Andressa Pilonetto por compartilhar seu conhecimento, pela disponibilidade e por todo o auxílio nas análises e metodologias quando necessitei.

Ao LAQUA da UTFPR Campus-Pato Branco pelo auxílio nas análises efetuadas, principalmente à Cíntia B. B. Lafay e Simone Beux.

À família Laginski, especialmente ao Piotre, Anatoly e senhor Joaquim, por todo apoio e auxílio na condução do experimento em Catanduvas-PR.

Ao Rui Picolotto Jr. por ceder parte de seus dados para essa tese e por sanar todas as dúvidas existentes sobre.

Ao IAPAR/IDR pelo auxílio na condução, análises de plantas e de solo de alguns experimentos. Agradeço também ao Dr. Alceu Luiz Assmann por toda a

colaboração nos experimentos desenvolvidos.

À UFMS e ao professor Dr. Rafael Felipe Ratke e seus alunos, e ao Engenheiro Agrônomo André P. Assmann pelo auxílio na organização, implantação e coleta de materiais no experimento desenvolvido em Paraíso das Águas-MS.

Ao grupo GISPA por me acolher desde a graduação. Meu muito obrigada à todos pelos conhecimentos repassados em todos esses anos e por todo auxílio!

À UTFPR por todos os professores e estrutura disponibilizados para que esse trabalho fosse concretizado.

À todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho e com a minha formação.

*Hoje me sinto mais forte  
mais feliz, quem sabe.  
Só levo a certeza  
de que muito pouco eu sei.  
Eu nada sei.  
(Almir Sater; Renato Teixeira)*



## RESUMO

A utilização de atividades com cunho sustentável vem aumentando cada vez mais nos últimos anos. Fatores relacionados as expectativas de aumento da população, aumento da produção de alimentos e o uso irracional de fertilizantes vem pressionando o setor agrícola em busca de manejos mais eficientes. Entre as principais práticas que podem ser utilizadas, destacam-se os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, o Sistema de Plantio Direto e a utilização da adubação de sistema, utilizando-se da ciclagem de nutrientes. Ainda que essas práticas possam ser utilizadas nas propriedades, ainda há necessidade de maiores estudos relacionados ao tipo de solo, seu manejo, dinâmica dos nutrientes e efeito sobre as plantas. A partir disso, o objetivo do trabalho foi compreender o efeito da adubação de sistemas para nitrogênio e potássio em solos argilosos e arenosos. O presente trabalho foi composto por três protocolos experimentais diferentes. O primeiro experimento foi realizado no município de Catanduvas/PR na safra 2018/2019. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas subdivididas no tempo e no espaço. Os tratamentos consistiram em duas estratégias de antecipação da adubação nitrogenada, com a aplicação de 45 kg N ha<sup>-1</sup> no perfilhamento da pastagem e a aplicação de 45 kg N ha<sup>-1</sup> no perfilhamento da pastagem + 140 kg N ha<sup>-1</sup> sobre a palhada da pastagem após a dessecação. O segundo fator estudo foi aplicado nas sub-parcelas e consistiram na aplicação de nitrogênio nas doses de 0, 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup> na cobertura do milho. Ainda, foram realizadas coletas das plantas de milho aos 55, 87 e 118 dias após a semeadura. O segundo experimento foi realizado no município de Pato Branco/PR durante os anos de 2016 e 2017. Os experimento foram realizados sob delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. No primeiro ano realizada a avaliação da cultura da milheto. O primeiro fator estudado foi a utilização de cobertura do solo ou pousio sobre a área. O segundo fator foi composto por épocas de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> do milheto (15, 30 e 45 dias após a semeadura). Ainda, foram realizadas coletas de plantas aos 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62 e 69 dias após a semeadura. Para o segundo ano foi realizada a avaliação da cultura do milho. O primeiro fator avaliado foram doses de N aplicados sobre a palhada da pastagem (0 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>). Já o segundo fator foi composto por doses de N aplicado na cobertura da cultura do milho cultivado em sequência (0 e 150 ha<sup>-1</sup>). Também foram realizadas coletas de plantas aos 37, 44, 51, 58, 69, 90 e 149 dias após a semeadura da cultura do milho. O terceiro experimento foi realizado no município de Paraíso das Águas/MS durante a safra 2019/2020. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. O primeiro fator estudado foram doses de potássio aplicados sobre a palhada da pastagem (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). O segundo fator foi composto por doses de potássio (0, 30, 60 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) aplicados na cobertura da cultura da soja. Foram realizadas coletas

de *litter-bags* aos 0, 15, 30, 60 e 90 dias após a deposição. A aplicação de nitrogênio de forma antecipada sobre a pastagem e sobre a sua palhada resultam em melhores condições nutricionais e produtividade de grãos da cultura do milho, sendo uma alternativa a ser utilizada nas propriedades. Além disso, a ferramenta de curvas de diluição se mostrou como uma boa indicadora do status nutricional das plantas de milho. Para a antecipação da adubação, a aplicação realizada aos 15 dias após a semeadura foi a que apresentou melhores resultados para a cultura do milho. O cultivo do milho em locais que apresentavam cobertura do solo resultaram em plantas mais bem nutridas para nitrogênio. Ainda, a antecipação da adubação nitrogenada sobre a palhada de aveia-preta não prejudica a produção de grãos e a nutrição de plantas de milho. A antecipação da adubação de potássio em solo arenoso pode ser realizada sem prejuízos sobre a produção de grãos de soja. A aplicação de potássio sobre a braquiária altera sua cinética de decomposição e liberação de nutrientes. Não houveram indícios de perdas de potássio através da lixiviação no solo.

**Palavras-chave:** agricultura sustentável. adubos e fertilizantes. plantas - nutrição.

## Abstract

The use of sustainable activities has been increasing in recent years. Factors related to population growth expectations, increased food production and the irrational use of fertilizers have been pressuring the agricultural sector in search of more efficient management. Among the main practices that can be used, the Integrated Crop-Livestock-System, the No-till, and the use of Fertilization-Level Systems, using nutrient cycling, stand out. Although these practices can be used on farms, there is still a need for further studies related to the type of soil, its management, nutrient dynamics, and the effect on plants. Based on this, the objective of the work was to understand the effect of fertilization systems for nitrogen and potassium in clayey and sandy soils. The present work was composed of three different experimental protocols. The first experiment was conducted in the municipality of Catanduvas/PR in the 2018/2019 harvest. The experimental design used was a randomized block design with four repetitions and subdivided plots in time and space. The treatments consisted of two strategies for anticipating nitrogen fertilization, with the application of 45 kg N ha<sup>-1</sup> at pasture tillage and the application of 45 kg N ha<sup>-1</sup> at pasture tillage + 140 kg N ha<sup>-1</sup> on the pasture straw after desiccation. The second study factor was applied to the subplots and consisted of nitrogen application at doses of 0, 100, 200, and 300 kg N ha<sup>-1</sup> on corn cover crop. In addition, corn plants were collected at 55, 87, and 118 days after sowing. The second experiment was conducted in the municipality of Pato Branco/PR in the years 2016 and 2017. The experiments were conducted in a randomized block design with four repetitions. In the first year, the millet crop was evaluated. The first factor studied was the use of ground cover or fallow on the area. The second factor was composed of application periods of 200 kg N ha<sup>-1</sup> of millet (15, 30, and 45 days after sowing). Also, plant collections were performed at 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62, and 69 days after sowing. For the second year, the corn crop was evaluated. The first factor evaluated was N doses applied to the pasture straw (0 and 150 kg N ha<sup>-1</sup>). The second factor was composed of N doses applied on the corn crop cover grown in sequence (0 and 150 kg N ha<sup>-1</sup>). Plant collections were also performed at 37, 44, 51, 58, 69, 90, and 149 days after sowing the corn crop. The third experiment was conducted in the municipality of Paraíso das Águas/MS during the 2019/2020 crop. The experimental design was a randomized block design with four repetitions. The first factor studied was potassium doses applied on the pasture straw (0 and 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). The second factor was potassium doses (0, 30, 60, and 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) applied to the soybean crop cover crop. Collections of *litter-bags* were made at 0, 15, 30, 60 and 90 days after deposition. The early application of nitrogen on the pasture and its stubble results in better nutritional conditions and grain productivity of the corn crop, being an alternative to be used in the properties. Furthermore, the dilution curves tool was shown to be a good indicator of

the nutritional status of corn plants. For the anticipation of fertilization, the application performed 15 days after sowing was the one that presented the best results for the millet crop. The cultivation of millet in places that presented ground cover resulted in plants better nourished for nitrogen. Moreover, the anticipation of nitrogen fertilization on black oat straw does not harm the grain yield and nutrition of corn plants. The anticipation of potassium fertilization on sandy soil can be carried out without affecting the grain yield of soybeans. Potassium application on brachiaria alters its decomposition kinetics and nutrient release. There was no evidence of potassium losses through leaching into the soil.

**Keywords:** sustainable agriculture. fertilizers. plants - nutrition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de março de 2018 a março de 2019. Fonte: Simepar (2020).	31
Figura 2 – Peso de mil grãos de milho (g) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha <sup>-1</sup> ) e doses de nitrogênio aplicados na base da cultura do milho (0, 100, 200, 300 kg N ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	36
Figura 3 – Número de grãos por fileira de milho em função de doses de nitrogênio aplicados na base da cultura do milho (0, 100, 200, 300 kg N ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	37
Figura 4 – Produtividade de grãos de milho (kg ha <sup>-1</sup> ) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha <sup>-1</sup> ) e doses de nitrogênio aplicados na base (0, 100, 200, 300 kg N ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	38
Figura 5 – Produção de matéria seca de plantas de milho (kg MS ha <sup>-1</sup> ) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 150 kg N ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	39
Figura 6 – Teor de N da parte aérea do milho em relação a matéria seca acumulada em função dos tratamentos de (A) N Ant. 45 e (B) N Ant. 45 + 140 kg N ha <sup>-1</sup> sobre a pastagem e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 100, 200 e 300 kg N ha <sup>-1</sup> ), comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	41
Figura 7 – Teor de P da parte aérea do milho em relação ao teor de N em função da aplicação de (A) N Ant. 45 e (B) N Ant. 45 + 140 kg N ha <sup>-1</sup> sobre a pastagem e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 100, 200 e 300 kg N ha <sup>-1</sup> ), comparadas com a curva de diluição de P para plantas de milho proposta por Ziadi <i>et al.</i> (2007). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	42
Figura 8 – Relação entre os teores de N e K no tecido de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	43
Figura 9 – Perdas por volatilização da amônia em função dos dias após a aplicação do nitrogênio e antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	44
Figura 10 – Dados de temperatura máxima, mínima e de pluviosidade média durante o período experimental. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.	53

Figura 11 – Produção média de matéria seca de plantas de milho submetidas à diferentes tempos de aplicação de 200 kg N ha <sup>-1</sup> dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	59
Figura 12 – Matéria seca acumulada de plantas de milho submetidas à diferentes épocas de coleta em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	60
Figura 13 – Teor de N no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	61
Figura 14 – Teor de P no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	62
Figura 15 – Teor de K no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	63
Figura 16 – Teor de N da parte aérea do milho em relação a matéria seca acumulada em função dos tratamentos de (A) com cobertura de solo e (B) em pousio e tempo de aplicação de nitrogênio em cobertura (15, 30 e 45 dias após a semeadura), comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	64
Figura 17 – Teor de P da parte aérea do milho em relação ao teor de N em função dos tratamentos de (A) com cobertura de solo e (B) em pousio e tempo de aplicação de nitrogênio em cobertura (15, 30 e 45 dias após a emergência), comparadas com relação entre N e P para plantas de milho proposta por Ziadi <i>et al.</i> (2007). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	65
Figura 18 – Relação entre os teores de N e K no tecidos de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	66
Figura 19 – Índice nutricional nitrogenado de plantas de milho submetidas à diferentes coberturas de solo (com cobertura e pousio) e datas de coleta em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	67
Figura 20 – Índice nutricional nitrogenado de plantas de milho submetidas à diferentes tempos de aplicação de 200 kg N ha <sup>-1</sup> e coleta de plantas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	68

Figura 21 – Índice de fósforo em função de coletas em dias após a semeadura e tempo de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura e índice de potássio em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	69
Figura 22 – Matéria seca acumulada de plantas de milho em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	71
Figura 23 – Teor de N (%) em função de coletas em dias após a semeadura e teor de P em função de doses de N aplicados em pré-semeadura e de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	72
Figura 24 – Teor de P (%) de plantas de milho em função de doses de N aplicados em pré-semeadura e de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	73
Figura 25 – Teor de K (%) em plantas de milho em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	74
Figura 26 – Teor de N da parte aérea do milho em função da matéria seca acumulada para os tratamentos com doses nitrogênio (0 e 150 kg N ha <sup>-1</sup> ) aplicadas em pré-semeadura e na cobertura, comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	75
Figura 27 – Teor de P da parte aérea do milho em função do teor de N para os tratamentos com doses nitrogênio (0 e 150 kg N ha <sup>-1</sup> ) aplicadas em pré-semeadura e na cobertura, comparadas com a reta para plantas de milho proposta por Ziadi <i>et al.</i> (2007). UTFPR, Pato Branco, 2022. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	76
Figura 28 – Relação entre os teores de N e K nos tecidos de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	77
Figura 29 – Índice nutricional nitrogenado (INN) em função da época de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	78
Figura 30 – Índice de fósforo (IP) em função da época de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	79
Figura 31 – Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de abril de 2019 a março de 2020. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	90
Figura 32 – Produtividade de grãos de soja (kg ha <sup>-1</sup> ) em função de doses de potássio aplicados sobre a braquiária (0 e 120 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> ) e doses aplicadas na cobertura da soja (0, 30, 60 e 120 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> ). UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	95

Figura 33 – Matéria seca remanescente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	96
Figura 34 – Comportamento da porcentagem matéria seca remanescente (%) de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	97
Figura 35 – Porcentagem de nitrogênio remanescente (%) (A) e liberação de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (B) da palhada de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a braquiária e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	98
Figura 36 – Porcentagem de fósforo remanescente (%) (A) e liberação de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) (B) da palhada de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a braquiária e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	99
Figura 37 – Porcentagem de potássio remanescente (%) (A e B) na palhada de braquiária para tratamentos com e sem a aplicação de potássio (K-Braquiária $0 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ e K-Braquiária $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) em função da aplicação de doses de potássio (0, 30, 60 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) na cobertura da soja e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	100
Figura 38 – Liberação de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da palhada de braquiária em função e coletas realizadas em dias após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	101
Figura 39 – Teor de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo anterior a aplicação de potássio sobre a braquiária (A), após a aplicação de potássio sobre a braquiária (B) e após a aplicação de potássio sobre a cultura da soja (C), em função da profundidade de solo (cm). UTFPR, Pato Branco, 2022.	102
Figura 40 – Teor de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo após a aplicação de diferentes doses de K (0, 30, 60 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a cultura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . .	103
Figura 41 – Teor de potássio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) no solo anterior a aplicação de potássio sobre a braquiária (A), após a aplicação de potássio sobre a braquiária (B) e após a aplicação de potássio sobre a cultura da soja (C), em função da profundidade de solo (cm) e doses de potássio (0 e $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022.	104



Figura 42 – Teor de K no solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) após a aplicação de K na cobertura da cultura da soja em função de diferentes doses (0, 30, 60 e 120  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ). UTFPR, Pato Branco, 2022. . . . . 105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise da variância da produtividade de grãos de milho, acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N e P em função dos fatores antecipação de nitrogênio, doses de nitrogênio em cobertura e tempo de coleta. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	35
Tabela 2 – Teor de N, P e K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da parte aérea do milho em relação nas datas de coleta dias após a semeadura (55, 87 e 118 DAS). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	40
Tabela 3 – Análise da variância do acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N e P em função da cobertura de solo, tempo de aplicação de nitrogênio e coleta de plantas. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	58
Tabela 4 – Análise da variância do acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N, P e K em função da aplicação de doses de N em pré-semeadura, doses de N em cobertura e tempo de coleta. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	70
Tabela 5 – Análise da variância da produtividade de grãos, matéria seca remanescente, matéria seca residual, teores iniciais de N, P e K de palhada de braquiária em função dos fatores aplicação de doses de potássio sobre a braquiária, doses de potássio aplicadas sobre a soja e tempo de coleta em dias após a deposição. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	93
Tabela 6 – Análise da variância da porcentagem de N, P e K remanescente e quantidade de N, P e K liberado da matéria seca de braquiária em função dos fatores aplicação de doses de potássio sobre a braquiária, doses de potássio aplicadas sobre a soja e tempo de coleta em dias após a deposição. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022. . . . .	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTC	Capacidade de Troca de Cátions
C/N	Relação entre carbono e nitrogênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
IK	Índice de Potássio
INN	Índice Nutricional Nitrogenado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IP	Índice de Fósforo
ILP	Integração Lavoura Pecuária
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
SIPA	Sistema Integrado de Produção Agropecuária
SPD	Sistema de Plantio Direto

## LISTA DE SÍMBOLOS

'	Minutos
”	Segundos
%	Percentual
<	Menor
>	Maior
Al	Alumínio
C	Carbono
Ca	Cálcio
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Centimol de carga por decímetro cúbico
g	Gramma
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
ha	Hectare
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Quiilograma
$\text{Kg ha}^{-1}$	Quilograma por hectare
$\text{K}_2\text{O}$	Óxido de potássio
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
$\text{m}^2$	Metro quadrado
N	Nitrogênio
P	Fósforo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>RELAÇÕES ENTRE N, P E K NA BIOMASSA DO MILHO: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO RESIDUAL DE ADUBAÇÕES NITROGENADAS EM PASTAGEM</b> . . . . .	<b>29</b>
3.1	Introdução . . . . .	29
3.2	Material e métodos . . . . .	31
3.3	Resultados . . . . .	35
3.4	Discussão . . . . .	44
3.5	Conclusões . . . . .	50
<b>4</b>	<b>ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: ANTECIPAÇÃO DE NITROGÊNIO SOB PALHADAS DE GRAMÍNEAS</b> . . . . .	<b>51</b>
4.1	Introdução . . . . .	51
4.2	Material e métodos . . . . .	53
4.3	Resultados . . . . .	58
4.3.1	Experimento 1 – Cultura do milheto . . . . .	58
4.3.2	Experimento 2 – Cultura do milho . . . . .	69
4.4	Discussão . . . . .	79
4.4.1	Experimento 1 – Cultura do milheto . . . . .	79
4.4.2	Experimento 2 – Cultura do milho . . . . .	83
4.5	Conclusões . . . . .	87
<b>5</b>	<b>ANTECIPAÇÃO DE ADUBAÇÃO POTÁSSICA PARA SOJA NA CULTURA DA BRAQUIÁRIA (<i>UROCHLOA BRIZANTHA</i>)</b> . . . . .	<b>88</b>
5.1	Introdução . . . . .	88
5.2	Material e métodos . . . . .	89
5.3	Resultados . . . . .	93
5.4	Discussão . . . . .	105
5.5	Conclusões . . . . .	113
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>115</b>

## 1 Introdução

A sustentabilidade dentro dos sistemas produtivos tem se tornado cada dia mais importante. Sabe-se que as previsões para o ano de 2050 é de que a população apresente um grande aumento, chegando ao número de 9,7 bilhões de pessoas (FAO, 2021). Logicamente que para a manutenção dessa população, também há a necessidade de aumento da escala de produção, tanto de derivados animais quanto vegetais. Esse dilema entre aumento populacional e a demanda de alimentos é debatido há muitos anos, porém, nos dias atuais a adição de conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável tem mostrado sua importância. No ano de 2015 a ONU propôs uma nova agenda para o desenvolvimento sustentável composta por 17 objetivos a serem desenvolvidos nos próximos 15 anos. Entre esses objetivos, tem-se a agricultura sustentável como um ponto a ser trabalhado.

No ano de 2019 o Brasil representou 8% de todo o fertilizante consumido no mundo, estando atrás apenas para China, Índia e Estados Unidos (BRASIL, 2019). Porém, um grande problema relacionado à isso está na dependência externa dessas quantidades de fertilizantes. Cerca de 80% dessa quantidade consumida vem justamente de outros países (BRASIL, 2019). Essa dependência externa faz com que cada vez mais o país seja refém de preços e da oferta cada vez mais reduzida. Segundo o MAPA, o Brasil apresenta dependência externa de 76, 55 e 94% de todo nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K), respectivamente, utilizados nas produções (BRASIL, 2019). Sabendo-se que grande parte dos locais de fornecimento de fertilizantes utilizam como base fontes naturais não-renováveis, é imprescindível que ações que aumentem a eficiência de uso dos nutrientes sejam utilizadas.

Dentro da agricultura brasileira se destaca o Sistema de Plantio Direto (SPD), uma prática agrícola que visa justamente a sustentabilidade. Como base do sistema se tem o não revolvimento do solo com manutenção da palhada sobre o mesmo. Diversos benefícios podem ser citados ao se realizar tal prática, mas as principais estão relacionadas a proteção do solo contra a erosão, benefícios químicos, físicos e biológicos para o solo e a contribuição para a ciclagem de nutrientes. Esse último pode contribuir grandemente para melhor utilização ou até mesmo a redução da quantidade de fertilizantes aplicados nas culturas.

A ciclagem de nutrientes é tida como o fluxo dos elementos entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera considerando seu ciclo biogeoquímico. A mesma pode ser observada através da absorção de nutrientes do solo, estoque na biomassa das plantas, seguidos da decomposição do material, disponibilizando novamente os nutrientes para o solo. No caso de Sistemas Integrados de Produção

Agropecuária há a adição do componente animal, onde o mesmo pode ser considerado como catalisador da ciclagem, visto que além da palhada também há ciclagem via fezes e urina. Dentro desses sistemas de produção, é possível ter um aproveitamento maior desses nutrientes a partir do momento que se tem maior conhecimento sobre seu fluxo.

A partir do conceito de ciclagem de nutrientes surge a concepção de adubação de sistemas, que visa não somente a adubação de uma única cultura, mas sim das culturas envolvidas na rotação/sucessão. Com isso, existe a possibilidade de aplicação de nutrientes sobre a cultura de cobertura ou até mesmo sobre a pastagem, havendo disponibilização para a cultura cultivada na sequência, utilizando-se da ciclagem de nutrientes. Porém, para a aplicação prática desses conceitos, é extremamente necessário ter conhecimento sobre a dinâmica desses nutrientes na palhada, no solo, a própria absorção dos nutrientes e seus efeitos produtivos nas plantas.

Hoje existem diversas metodologias que visam o maior conhecimento da própria ciclagem de nutrientes e seus efeitos sobre nutrição de plantas. A compreensão das taxas de decomposição e liberação de nutrientes de materiais são extremamente necessárias para que se possa saber as reais quantidades fornecidas ao sistema. Em específico para o SPD, a palhada também tem função de estoque de nutrientes, podendo fornecer quantidades consideráveis para outras culturas. Porém, além das quantidades também é necessário ter conhecimento sobre o sincronismo entre liberação de nutrientes e absorção pelas culturas.

Outra forma de confirmar os efeitos da ciclagem de nutrientes e a adubação de sistemas está na utilização das curvas de diluição e índices nutricionais. Essas ferramentas tem como objetivo a predição do status nutricional de plantas, sabendo-se sobre a quantidade mínima/crítica de nutrientes para obtenção de máxima produção. Nesse caso, é possível ter conhecimento sobre a eficiência de utilização de nutrientes dentro do sistema de produção e interferindo sobre as recomendações de adubação das culturas.

Considerando o exposto acima, o objetivo do presente trabalho foi compreender efeito da adubação de sistemas sobre a ciclagem de nutrientes, status nutricional de plantas e produtividade de plantas em solo argiloso e arenoso.

## 2 Revisão de literatura

O crescimento da população a nível mundial já é algo reconhecido pela sociedade e motivo de preocupação de muitos estudiosos. Segundo dados da (FAO, 2021) a população mundial alcançará o valor de 9,7 bilhões de pessoas. Em consequência, sabe-se que a demanda por alimentos de origem vegetal e animal também aumentará. A fim de satisfazer tal demanda, é extremamente necessário que se aumentem as áreas de exploração ou que a produtividade dos cultivos e criações sejam superiores. Para o primeiro fator, deve-se considerar os efeitos ambientais e suas consequências, sendo o segundo fator o maior foco das ações desenvolvidas. Aumentar a produtividade das áreas de cultivo e criações depende do bom manejo, seja ele da própria cultura, utilização de fertilizantes e uso de defensivos.

Em específico, o uso de fertilizantes nas propriedades rurais têm grande utilização com o intuito de melhorar os rendimentos. Porém, é de conhecimento que a cada ano há retração das reservas naturais e aumento nos preços, havendo a cada dia uma maior necessidade de fazer bom uso dos nutrientes utilizados nas produções. Desse modo, busca-se por sistemas produtivos que sejam intensivos, mas também sejam sustentáveis. Essas duas características podem ser observadas no próprio SPD ou em SIPA (Sistema Integrado de Produção Agropecuária), considerando principalmente o princípio da ciclagem de nutrientes no sistema produtivo.

A ciclagem de nutrientes pode ser entendida como o processo envolve o movimento dos nutrientes entre os componentes de um sistema produtivo e seu respectivo ciclo biogeoquímico, podendo ser mensurada a sua quantidade e a velocidade de passagem dos nutrientes entre esses componentes do sistema, obtendo um balanço final de entradas e saídas no sistema (ANGHINONI *et al.*, 2017). Ainda, a ciclagem pode ser vista através da descrição da transformação dos nutrientes desde sua forma orgânica até a forma inorgânica, além do retorno para formas orgânicas novamente (FENG; BALKCOM, 2017). Esse processo quando observado sob o viés da produção agrícola, pode apresentar os pontos de solo-planta-animal-atmosfera como compartimentos (ANGHINONI *et al.*, 2017), ou seja, locais para a ocorrência do fluxo de nutrientes.

Considerando os sistemas de produção mais praticados no Brasil, deve-se destacar a grande utilização do SPD e dos SIPA. Nesses casos, tem-se a ciclagem de nutrientes por meio da decomposição de resíduos vegetais e/ou animais na área através de processos biológicos, fazendo com que diversos macronutrientes assumam suas formas inorgânicas e possam ser assimilados pelas plantas (CORREIA; OLIVEIRA, 2005). Anghinoni *et al.* (2017) comentam que o fluxo de nutrientes ocorre entre os



compartimentos do sistema, onde as plantas de cobertura ou para pastejo absorvem nutrientes do solo e os incorporam em sua biomassa. A disponibilização ocorre através das excretas animais ou através da própria decomposição do material vegetal, podendo ser utilizado pela próxima cultura, pelos microrganismos do solo e para a formação da matéria orgânica do solo. A partir disso, é possível ter um melhor aproveitamento dos nutrientes que circulam e que disponíveis dentro do sistema de produção. Para [Pitta et al. \(2012\)](#) o maior conhecimento sobre a dinâmica da matéria seca e dos nutrientes se torna importante por interferir diretamente sobre as recomendações de fertilizantes para culturas subsequentes. Porém, ainda é necessário um maior conhecimento sobre a dinâmica dos nutrientes para sua otimização em diferentes realidades.

Levando em conta que o Brasil apresenta mais de 33 milhões de hectares conduzidos sob SPD ([IBGE, 2017](#)), um dos mais importantes compartimentos do sistema que participam do fluxo de nutrientes é justamente a palhada que está sobre o solo. [Schomberg, Ford e Hargrove \(1994\)](#) já relatavam que os resíduos culturais são a principal fonte de contribuição para a ciclagem de nutrientes, principalmente para N, P e K. [Pereira et al. \(2017\)](#) comenta que a utilização plantas na época de entressafra, sejam elas para cobertura de solo ou para pastejo, contribuem grandemente para a ciclagem de nutrientes. Essa importância da palhada para a ciclagem pode ser observada através dos trabalhos realizados com coberturas de inverno ([VARELA et al., 2017](#); [MARCILLO; MIGUEZ, 2017](#); [PAVINATO et al., 2017](#)) e de verão ([TANAKA et al., 2019](#); [OLIVEIRA et al., 2019](#); [PACHECO et al., 2011](#); [XAVIER; OLIVEIRA; SILVA, 2017](#)).

Para a quantificação dos nutrientes que são repassados pelo material depositado sobre o solo, utiliza-se da metodologia de sacos de decomposição, mais conhecidos como *litter-bags*. Essa metodologia tem como base a avaliação da perda de matéria seca e de nutrientes de um material orgânico contido em pequenos sacos de decomposição por um tempo específico ([MATEO; ROMERO, 1996](#)). Através dos *litter-bags* pode-se ter maior conhecimento sobre a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes da matéria seca, sua relação com fatores climáticos e sobre o fluxo entre os compartimentos. Diversos trabalhos têm demonstrado a importância dessa avaliação considerando a quantificação dos nutrientes e tempo de disponibilização frente a necessidade de melhor uso dos nutrientes dentro das propriedades rurais.

Na região Sul do país é muito comum a utilização de culturas para cobertura do solo durante o período de inverno, sendo as mesmas fundamentais para a ciclagem nesses sistemas de produção. Através do trabalho desenvolvido por [Crusciol et al. \(2008\)](#), por exemplo, pode se ter uma noção da contribuição da cobertura de aveia-preta para o sistema. Nesse ensaio as plantas expressaram sua capacidade de acumular nutrientes, com valores de 70,1 kg N ha<sup>-1</sup>, 14,7 kg P ha<sup>-1</sup> e 88,4 kg K ha<sup>-1</sup> estocados

em seu tecido. A liberação de nutrientes atingiu valores de 45 kg N ha<sup>-1</sup>, 12,7 kg P ha<sup>-1</sup> e 35 kg K ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 100 kg de ureia ha<sup>-1</sup>, 56 kg MAP (fosfato monoamônico) ha<sup>-1</sup> e 70 kg KCl ha<sup>-1</sup>. Por conta dessas características, os autores enfatizam o grande potencial dessa planta na ciclagem de nutrientes, apresentando papel fundamental na redução de perdas por lixiviação e imobilização, disponibilizando nutrientes de forma gradual para culturas subsequentes.

Em locais de clima mais quente, também são utilizadas plantas de cobertura no período de entressafra. Nesses locais, destaca-se o uso das braquiárias. Por conta de sua grande capacidade de produção de matéria seca e exploração do perfil do solo, a função dessas plantas é ainda maior no que se diz respeito a ciclagem de nutrientes. [Tanaka et al. \(2019\)](#) trabalhando diferentes genótipos de braquiária encontraram valores acumulados de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, 17,5 kg P ha<sup>-1</sup> e 102 kg K ha<sup>-1</sup> nos tecidos das plantas. Durante 90 dias de avaliação foram liberados 176 kg N ha<sup>-1</sup>, 15,5 kg P ha<sup>-1</sup> e 98,5 kg K ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 391 kg ureia ha<sup>-1</sup>, 68,3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 197,3 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Para os autores, a utilização da planta de cobertura interferiu sobre o desempenho da soja cultivada em sequência, resultando em maior produção de grãos, maior ciclagem de nutrientes e sustentabilidade na propriedade.

No caso de sistemas de produção que apresentam além do SPD, também a integração com animais, como os SIPAs, a ciclagem de nutrientes é intensificada. [Anghinoni et al. \(2017\)](#) afirmam que quando os animais são adicionados ao sistema, isso porque o próprio consumo de forragem, digestão e o retorno via fezes e urina fazer com que os fluxos sejam diferentes. Ainda, os autores alegam que os animais em pastejo são agentes que aceleram o processo, sendo considerados como catalisadores da ciclagem de nutrientes no sistema de produção.

Existem diversos pontos que são alterados na ciclagem com a adição dos animais. Em um primeiro momento, o próprio material pastejado apresenta alterações, culminando em uma dinâmica diferenciada dos nutrientes. [Assmann et al. \(2014\)](#) verificaram que o tempo de pastejo alterou a decomposição dos resíduos de trigo pastejado, sendo a mesma acelerada conforme o aumento do número de pastejo. Além disso, salienta-se que o retorno de nutrientes também ocorre de forma intensa através dos dejetos animais. Segundo [Dubeux e Sollenberger \(2020\)](#) o retorno de nutrientes para o sistema ocorre de 80 a 90% através de fezes e urina, isso porque uma porção muito pequena dos nutrientes é exportada via carne, leite e lã. Em trabalho desenvolvido por [Carpinelli et al. \(2020\)](#) sob sistema de ILP (Integração Lavoura-Pecuária) e ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) foram encontradas quantidades médias de liberação de nutrientes pelas fezes dos animais em pastejo de 3 kg N ha<sup>-1</sup>, 1,05 kg P ha<sup>-1</sup> e 3 kg K ha<sup>-1</sup>. Já [Assmann et al. \(2017\)](#) encontraram valores de 10,5 kg P ha<sup>-1</sup> e 16 kg K ha<sup>-1</sup> de liberação de fezes de animais sob pastejo em sistema ILP. No caso

da urina de bovinos, [Lima \(2022\)](#) (dados não publicados) encontrou concentrações de 11,17 g N L<sup>-1</sup>, 23,2 g P L<sup>-1</sup> e 23,2 g K L<sup>-1</sup>, sendo que a autora afirma que no trabalho foi possível ter uma “aplicação” média de 294 kg N ha<sup>-1</sup> através da urina bovina. Todas essas quantidades de nutrientes advindas através dos dejetos podem apresentar influencia direta sobre a produtividade das culturas, podendo assim fazer parte das recomendações de adubação.

A agregação do conhecimento sobre a disponibilização de nutrientes através dos restos culturais ou até mesmo de dejetos animais ainda é extremamente necessária no que se diz respeito às recomendações de adubação. Hoje, já se tem algum conhecimento sobre a ciclagem de nutrientes dentro dos sistemas e se sabe que as disponibilizações de nutrientes podem contribuir grandemente para a nutrição das culturas. A partir disso, surge o conceito de adubação de sistemas, que é baseada justamente na ciclagem de nutrientes entre as fases de rotação em um sistema produtivo e na eficiência no uso de nutrientes ([ASSMANN \*et al.\*, 2017](#)). Consideram-se todas as culturas envolvidas no sistema de rotação, sejam elas culturas agrícolas, pastagens ou coberturas de solo na composição do esquema de fluxo de nutrientes ([ASSMANN \*et al.\*, 2018](#)).

Diversos trabalhos têm comprovado a eficiência da adubação de sistemas, sejam eles com ou sem a adição de animais. [Assmann \*et al.\* \(2003\)](#) já havia constatado o efeito da ciclagem, sendo possível produzir 10.000 kg de grão de milho ha<sup>-1</sup> com aplicação de N realizada apenas sobre a pastagem de aveia e azevém. Produtividades semelhantes foram obtidas quando foram aplicados 200 kg N ha<sup>-1</sup> na cultura do milho. De mesma forma, [Sandini \*et al.\* \(2011\)](#) não encontrou incrementos de produtividade de grãos quando realizadas aplicações de N em cobertura para milho cultivado posterior à pastagem de aveia e azevém adubada com 225 kg N ha<sup>-1</sup>. [Farias \*et al.\* \(2020\)](#) ao realizar toda a aplicação de N, P e K sobre a pastagem de azevém, constataram que a estratégia de adubação não interferiu sobre a produção de grãos de soja. Além disso, nesse trabalho foi possível ter aumento na produção e acúmulo de forragem, possibilitando maiores ganhos animais.

Há de se lembrar que a adubação em nível de sistema também pode ser realizada em locais sem o componente animal. Nesses casos onde as áreas são cultivadas sob SPD a adubação de sistemas pode se tornar até mesmo uma estratégia a fim de se evitar perdas de nutrientes ou problemas de imobilização temporária. Esse fato pode ser observado no trabalho desenvolvido por [Momesso \*et al.\* \(2019\)](#) com a rotação braquiária-milho onde a aplicação de N sobre a braquiária anterior à semeadura foi o tratamento que respondeu em maior produtividade de grãos (13.800 kg grãos ha<sup>-1</sup>). [Rocha \*et al.\* \(2014\)](#) ao avaliar o efeito do manejo do nitrogênio na rotação aveia-preta-milho verificaram que a aplicação do N sobre a palhada da aveia-preta não

interferiu sobre a produtividade de grãos de milho (9.079 kg grãos ha<sup>-1</sup>), tornando-se uma alternativa à aplicação tradicional na cobertura. [Foloni e Rosolem \(2008\)](#) ao estudarem o efeito da antecipação de K do milho sobre a cultura do milheto concluíram que o K pode ser antecipado em sua totalidade sem comprometer a produtividade de grãos.

Ainda que a produtividade de grãos da cultura comercial seja uma forma de avaliar o potencial das adubações de sistema, características nutricionais das plantas também podem ser levadas em consideração. Com isso, é possível ter uma maior noção sobre o fluxo de nutrientes após a liberação pelos resíduos. Uma das técnicas que vem ganhando espaço na avaliação do status nutricional de plantas é a utilização das curvas de diluição e índices nutricionais. Através dessas curvas é possível conhecer quais são as quantidades mínimas necessárias dos nutrientes para obtenção de máxima produção conforme ocorre o incremento de matéria seca das plantas ([LEMAIRE; SALETTE, 1984](#)). Caso existam situações de deficiência ou de excesso de nutrientes, os mesmos poderão ser observados. Ainda, é possível trabalhar com a relação entre os nutrientes (P e K em relação ao N), podendo-se ter a compreensão dos conteúdos mínimos de P e K necessários para máxima produção.

[Maccari et al. \(2021\)](#) e [Bernardon et al. \(2021\)](#) ao realizar trabalho sob sistema de ILP, utilizando da adubação de sistema para N, com o mesmo protocolo experimental, também fizeram uso da técnica de curva de diluição em seu trabalho. Para o primeiro trabalho foi constatado que a adubação nitrogenada aplicada somente sobre a pastagem de azevém foi capaz de promover níveis nutricionais de N adequados das plantas de milho. No caso do P, foram identificadas situações diferentes em função da aplicação do N sobre a pastagem ou sobre a cultura do milho. Para o segundo trabalho, comprovou-se que a quantidade de N disponibilizado pela cultura do milho não foi suficiente para nutrir adequadamente a fase pastagem (aveia-preta e azevém). Os autores também enfatizam que técnica que avalia os teores críticos de nutrientes é tida como uma boa ferramenta de diagnose nutricional antecipada de plantas em SIPA, além de auxiliar no maior entendimento e confirmação dos resultados da aplicação da adubação de sistemas.

Além de melhoras relacionadas à produtividade dos sistemas de produção, é importante salientar que o trabalho envolvendo o conceito da adubação de sistemas, ou seja, utilizando-se da ciclagem de nutrientes pode trazer benefícios sobre as perdas de nutrientes. Atualmente, muito se questiona sobre as perdas envolvendo a aplicação de altas quantidades de fertilizantes em uma única fase/tipo de produção, culminando em perdas de nutrientes, sejam por lixiviação, erosão ou volatilização.

Em trabalho desenvolvido por [Lima \(2018\)](#) em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária conduzido na região Sul do país foram constatadas perdas mínimas

de amônia por volatilização quando o N ( $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) foi aplicado no inverno (sobre a pastagem) e no verão. As quantidades atingidas representaram apenas 1,5% do total aplicado de N no inverno e de 5,37 e 4,0% no verão para as culturas de feijão e milho respectivamente. Esses dados mostram que há possibilidade de aplicação de fertilizantes com maior eficiência. No caso das perdas por erosão, (ZOLIN *et al.*, 2021) mostram em seu trabalho que diversos nutrientes podem ser perdidos juntamente com o solo e a água. Os mesmos autores mostram que locais que são conduzidos em SIPA ou em SPD apresentam menores perdas de solo e de nutrientes, principalmente se comportando como sistemas com maior sustentabilidade da agricultura. Ainda, podem haver perdas por lixiviação, considerando principalmente o tipo de solo a ser avaliado. Porém, muitos dos sistemas podem auxiliar na redução de perdas por esse processo. (TULLY; RYALS, 2017) ao estudarem a ciclagem de nutrientes em agroecossistemas verificaram que SIPAs com a utilização de árvores tem grande capacidade de reduzir as perdas por lixiviação frente à sistemas convencionais de produção. Esse fato é devido a capacidade das plantas presentes no sistemas de capturar os nutrientes em camadas mais profundas do solo e trazê-los de volta à superfície. A partir disso, observa-se que o SPD e os SIPAs tem grande potencial de utilização nas propriedades, promovendo grandes melhorias no solo, além do aspecto da sustentabilidade.

### 3 Relações entre N, P e K na biomassa do milho: uma ferramenta para avaliação do efeito residual de adubações nitrogenadas em pastagem

#### 3.1 Introdução

A compreensão sobre a nutrição das plantas é de grande valia, principalmente quando se fala sobre nitrogênio. Isso porque esse elemento apresenta grande dinâmica dentro dos sistemas de produção e pode influenciar o manejo da adubação (MACCARI, 2016). Assim, para as recomendações de adubação nitrogenada, existem diversas variáveis utilizadas como base. Apesar das possibilidades de avaliação do N no solo e nas plantas, nem sempre essas apresentam valores apropriados. Por exemplo, no caso da avaliação de clorofila no tecido de plantas, nem sempre é possível correlacionar seus valores com a produtividade de forma confiável. Ainda, alguns valores de leitura são muito similares para situações muito diferentes (aplicações de doses de N em cobertura), inviabilizando as inferências sobre a disponibilidade de nitrogênio (HURTADO *et al.*, 2011). Além disso, as recomendações baseadas em teores de matéria orgânica no solo deveriam também considerar fatores como: histórico da área, utilização de adubação verde, quantidade de palhada remanescente sobre o solo e disponibilização de nitrogênio pela palhada, além de fatores como a produtividade esperada (HURTADO *et al.*, 2010). Nesse caso, apesar da grande disponibilidade de técnicas de predição indiretas do estado nutricional das plantas, ainda há a necessidade de se elaborarem procedimentos mais seguros para determinação de recomendação (PINHO *et al.*, 2009a).

Li, He e Jin (2012) afirmam que o melhor indicador das necessidades de nitrogênio é a própria planta em desenvolvimento. Para isso, o desenvolvimento de modelos através da análise do tecido foliar estão sendo utilizados. No caso da análise foliar para a cultura do milho, a metodologia adotada é a proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Recomenda-se a coleta da folha oposta e abaixo da espiga superior das plantas. Apesar da eficiência desse método em demonstrar o estado nutricional das plantas (GOTT *et al.*, 2014), lembra-se que para a utilização desse método a coleta da folha deve ocorrer após o desenvolvimento das espigas, ou seja, após a definição dos componentes de rendimento (estádio V5 e V6) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Nesse caso, a correção da adubação para melhoria do estado nutricional e da produtividade é comprometida. Desse modo, há a necessidade de utilização de métodos que possam embasar uma decisão rápida e eficaz de adubação nitrogenada.

Uma das técnicas que vem ganhando espaço para a detecção do nível nutricional de plantas são os índices nutricionais e as curvas de diluição. Através desses métodos é possível ter conhecimento do estado nutricional das plantas de

forma antecipada, possibilitando correções durante o desenvolvimento da cultura. A curva de diluição de nitrogênio permite o conhecimento da condição nutricional das plantas em diferentes estádios de desenvolvimento. Essa curva estabelece valores mínimos de nitrogênio (nitrogênio crítico) conforme a quantidade acumulada de matéria seca pela planta (LEMAIRE; SALETTE, 1984).

Outros nutrientes também podem apresentar grandes influências sobre o acúmulo de biomassa e produção de grãos nas culturas. Assim, a avaliação em relação ao fósforo e potássio também são de grande importância. Esses nutrientes apresentam uma relação muito estreita com o N (BRIAT *et al.*, 2020). Por conta disso, é possível ter o conhecimento sobre as quantidades mínimas necessárias de P e K para máximo acúmulo e produção de matéria seca em relação à quantidade de N existente nos tecidos das plantas. Desse modo, é possível obter uma análise completa do status nutricional das plantas, principalmente, de forma antecipada, possibilitando avaliação da situação atual e melhora em cultivos posteriores.

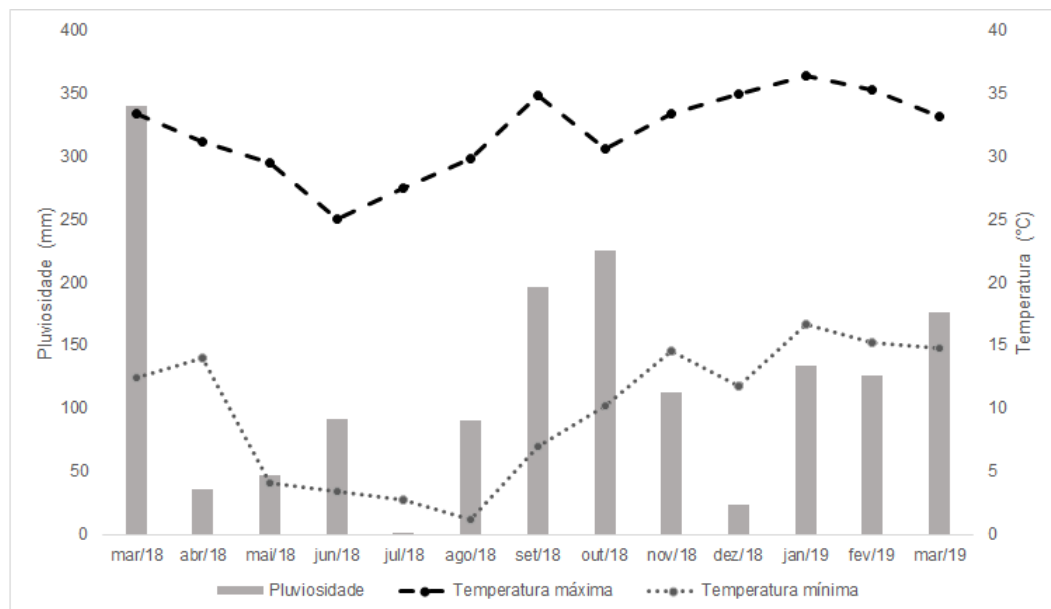
Dentro dos SIPAs, a utilização de metodologias de predição do status nutricional de plantas é muito significativa. Nesses sistemas podem ser utilizadas diferentes estratégias de antecipação da adubação nitrogenada, possibilitando uma maior eficiência de utilização do nutriente. Assim, a aplicação de N somente sobre a pastagem ou sobre a palhada da pastagem se mostra como alternativa interessante. A possibilidade de aplicação de N em uma única vez pode trazer benefícios em relação à produção de pasto, produção animal, fertilidade do solo, imobilização microbiológica de nitrogênio, além da parte econômica.

Alguns autores ao trabalharem com a antecipação da adubação nitrogenada (SOUZA *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2014) encontraram resultados similares de produtividade de grãos de milho quando a adubação nitrogenada foi aplicada em pré-semeadura sobre a palhada de gramíneas de cobertura. Assmann *et al.* (2003) e Sandini *et al.* (2011), conduzindo trabalhos na região Sul do país sob ILP, constataram o efeito residual do nitrogênio aplicado sobre a pastagem de inverno para a cultura do milho. Ainda que haja comprovação dos efeitos positivos da antecipação da adubação nitrogenada sobre a produção das culturas, ainda é necessário o conhecimento sobre o atendimento das reais necessidades nutricionais da cultura com possibilidade de ajustes no mesmo cultivo.

Dessa forma, os objetivos do presente trabalho foram: 1) verificar se a aplicação nitrogenada de forma antecipada sobre a pastagem possibilita uma boa nutrição das plantas de milho subsequentes e 2) determinar os efeitos associados ao manejo da adubação nitrogenada sobre a nutrição de fósforo e potássio.

### 3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Catanduvas – Paraná (25 07' 56.7"S; 53 12' 57.0"W, 780 m altitude) durante o período de agosto de 2018 a fevereiro de 2019. A área apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho e foi conduzida sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária há cinco anos e há mais de 30 anos em Sistema de Plantio Direto. O clima é considerado como Cfa (subtropical úmido) de acordo com a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos do período experimental estão dispostos na Figura 1. As características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm no início do período experimental eram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5.1, matéria orgânica (MO) = 61.0 g dm<sup>-3</sup>, P (Mehlich-I) = 7.9 mg dm<sup>-3</sup>, K (Mehlich-I) = 0,325 cmol<sub>(c)</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca = 4.2 cmol<sub>(c)</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 2.2 cmol<sub>(c)</sub> dm<sup>-3</sup>, V% = 55% e CTC = 12.1 cmol<sub>(c)</sub> dm<sup>-3</sup>.



**Figura 1 – Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de março de 2018 a março de 2019. Fonte: Simepar (2020).**

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas subdivididas no espaço e no tempo. Os tratamentos utilizados nas parcelas principais consistiram de duas estratégias de antecipação da aplicação de nitrogênio. Os tratamentos, que foram aplicados sobre a pastagem, antecedendo a implantação do milho nas parcelas principais, foram a aplicação de 45 kg de N ha<sup>-1</sup> durante o perfilhamento da pastagem (N Ant. 45 kg N ha<sup>-1</sup>) e a aplicação de 45 kg N ha<sup>-1</sup> durante o perfilhamento da pastagem mais a aplicação de 140 kg N ha<sup>-1</sup> (N Ant. 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup>) após a retirada dos animais da área pastejada. Os tratamentos aplicados nas sub-parcelas consistiram na aplicação de nitrogênio sobre a cultura do milho em



cobertura nas doses (N Co.) de 0, 100, 200 e 300 kg N kg ha<sup>-1</sup>. Ainda, foram realizadas coletas em diferentes datas de coleta das plantas nas sub-sub-parcelas aos 55, 87 e 118 dias após a semeadura (DAS). Para a avaliação dos componentes de rendimento do milho foram considerados somente os fatores de aplicação de N na pastagem ou palhada e doses de N na cobertura do milho.

O experimento teve início em março de 2018 com a fase pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.). O estabelecimento do pasto se deu através de de ressemeadura natural, aproveitando-se o banco de sementes local. Após a emergência, o azevém foi adubado a lanço com 12,5 kg de N ha<sup>-1</sup> e 59 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> na forma de fosfato monoamônico. Precedente a entrada dos animais e durante a fase de perfilhamento da pastagem, foram aplicados 45 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio (22% N) em base. O pastejo teve início no mês de abril quando as plantas de azevém já apresentavam aproximadamente 30 cm. O método de pastejo utilizado foi o contínuo com a utilização de novilhos da raça Purunã. O período de pastejo se estendeu até o dia 15 de setembro de 2018.

No dia da retirada dos animais, foi realizado o plantio da cultura do milho. A semeadura foi realizada com a utilização do híbrido '30R50' com espaçamento de 0,45 cm em sistema de Plantio Direto com profundidade de quatro centímetros e população de 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação aplicada em base foi de 25 kg N ha<sup>-1</sup>, 118 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 112 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> através de um formulado NPK.

No dia 18 de setembro de 2018 foi realizada a dessecação da pastagem com a utilização de glifosato (3,5 L ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (3,0 L ha<sup>-1</sup>). Ainda, no mesmo dia também foi realizada a adubação nitrogenada nas devidas unidades experimentais com a aplicação de 140 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio (22%). No dia 25 de outubro de 2018, no momento em que as plantas de milho se encontravam em estágio V5 de desenvolvimento, foi realizada a aplicação de nitrogênio em cobertura nas doses de 0, 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup>, com utilização de ureia (46%) de forma manual. Durante o desenvolvimento da cultura do milho, foram realizadas aplicações de inseticidas, herbicidas e fungicidas conforme o manejo da propriedade. A colheita foi realizada no dia 19 de fevereiro de 2019 de forma manual, quando as plantas apresentavam umidade próxima à 13%.

Durante o desenvolvimento da cultura milho, foram realizadas coletas das plantas para avaliações da concentração de nutrientes e acúmulo de matéria seca. As coletas foram realizadas aos 55, 87 e 118 dias após a semeadura nas sub- sub-parcelas (09/10/18; 12/11/18; 11/01/19, respectivamente). Em cada data, foram realizadas as coletas através de cortes rente ao solo em um metro linear (quatro plantas) em cada unidade experimental.

Para avaliação do acúmulo de matéria seca das plantas de milho, foram

utilizadas as plantas coletadas nas sub-sub-parcelas em suas respectivas datas. Após a coleta a campo, as plantas foram pesadas e posteriormente trituradas em triturador forrageiro formando uma amostra homogênea. Após, foi retirada uma subamostra representativa de cada parcela, sendo que as mesmas também foram pesadas. As subamostras foram levadas para estufa de circulação de ar forçada a 55 °C até peso constante. Logo, foram determinadas as porcentagens de matéria seca das amostras como também a produção de matéria seca da cultura.

Para a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio das plantas de milho, foram utilizadas as amostras obtidas nas coletadas nas sub-sub-parcelas. Após a secagem em estufa e pesagem, as amostras foram moídas em moinho tipo *Willey* com malha de 1 mm. Logo, os teores de N, P e K foram determinados conforme metodologia proposta por [Tedesco et al. \(1995\)](#).

Através dos teores de N, P e K determinados em laboratório foi possível desenvolver índices nutricionais e as curvas de diluição para a cultura do milho. As curvas de diluição de N foram determinadas com a utilização dos dados de matéria seca acumulada e concentração de nitrogênio nos tecidos da planta de milho através da seguinte equação:

$$\%N = a(MS)^{-b}$$

Onde MS representa a quantidade de matéria seca (t ha<sup>-1</sup>); N% representa a concentração de N nas plantas de milho; a representa a concentração de nitrogênio em 1 tonelada de matéria seca acumulada por hectare; b é um coeficiente adimensional que representa a velocidade de redução do teor de N durante o crescimento e desenvolvimento da planta. As curvas obtidas foram comparadas com a proposta por [Plénet e Lemaire \(1999\)](#) para a cultura do milho.

Para a determinação da relação de N:P, foram utilizadas as concentrações de N e P existentes no tecido das plantas de milho. As equações desenvolvidas foram geradas de acordo com a equação:

$$P = a + b \cdot \%N$$

As retas desenvolvidas também foram comparadas com a reta desenvolvida por [Ziadi et al. \(2007\)](#) para plantas de milho.

Para a relação entre N e K, foram utilizadas as concentrações de N e K no tecido das plantas considerando o Índice Nutricional Nitrogenado (INN). Assim, considerou-se situações limitantes (INN > 100) e não limitantes de N (INN < 100). As equações lineares foram geradas com base na equação:

$$K = a + b \cdot \%N$$

Todas as retas desenvolvidas para a relação N e P e N e K foram submetidas ao teste de paralelismo onde foram comparados as intercepções em Y (coeficiente a) e e as inclinações (coeficiente b).

Para a determinação do INN das plantas de milho também foram utilizados dados de matéria seca acumulada e a concentração de nitrogênio nos tecidos através da equação proposta por [Lemaire, Gastal e Salette \(1989\)](#):

$$INN = \frac{(100 \cdot N\%)}{3,4(MS)^{-0,37}}$$

A interpretação do INN ocorreu de acordo com a classificação: > 100 = excedente; 80 – 100 = satisfatório; 60 – 80 = inadequado; < 60 muito pobre ([LEMAIRE; GASTAL; SALETTE, 1989](#)).

Os índices nutricionais de P (IP) foi calculado a partir do proposto por [Ziadi et al. \(2007\)](#) utilizando a seguintes equação:

$$IP = \frac{100 \cdot P\%}{1,0 + 0,094N\%}$$

Para a interpretação de IP, utilizou-se a seguinte escala: > 120 excedente; 100 – 120 muito satisfatório; 80 – 100 satisfatório; 60 – 80 insuficiente; < 60 muito insuficiente ([THÉLIER-HUCHÉ; FARRUGGIA; CASTILLON, 1999](#)).

Para a determinação da produtividade de grãos de milho, foram colhidas todas as espigas em uma área de 6,75 m no centro de cada sub-parcela. Após, os grãos de todas as espigas foram debulhados e pesados. O peso de grãos foi corrigido para umidade de 13% e o valor foi extrapolado para hectares.

Foram realizadas análises dos componentes de rendimento do milho. Avaliou-se o peso de mil grãos, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e população de plantas por metro quadrado. Para essas avaliações, retirou-se uma subamostra composta por vinte espigas de cada sub-parcela. Foi realizada a contagem de número de fileiras e o número de grãos em três fileiras aleatórias de cada espiga. Após a debulha do material, realizou a contagem e a pesagem 300 grãos de cada sub-parcela, sendo o valor posteriormente extrapolados para mil grãos. A população de plantas foi estimada através da contagem de plantas em seis metros lineares em cada sub-parcela.

Foi realizada a avaliação por volatilização de amônia no experimento utilizando o método de coletores semiabertos estáticos ([CABEZAS; TRIVELIN, 1990](#)). O método consistiu na alocação de uma câmara cilíndrica de 35 cm de altura confeccionada com material plástico transparente que apresentavam dois anéis de espuma em seu interior. As câmaras foram instaladas antes de aplicação do fertilizante na área e após foram aplicadas doses de N dentro das câmaras correspondentes ao tratamento

de aplicação de N sobre a palhada da pastagem (0 e 140 kg N ha<sup>-1</sup>). As esponjas alocadas dentro das câmaras eram embebidas em solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N e glicerina 2%, sendo recolhidas aos 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 dias após a aplicação de N. Após, foi determinada a quantidade de amônia em laboratório através do método de colorimetria descrito por Miyazawa, Pavan e Bloch (1992).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. As variáveis que apresentaram diferença significativa foram comparadas pelo teste LSD em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Statgraphics. Para determinação das curvas de diluição de nutrientes, foi efetuado o procedimento de regressão não-linear dos dados selecionados, gerando os coeficientes através do software estatístico Statgraphics. As curvas de diluição foram representadas graficamente através do programa Excel.

### 3.3 Resultados

A análise de variância para os fatores estudados nesse trabalho foram apresentadas na Tabela 5. A antecipação do N sobre a pastagem e a palhada (N Ant.) apresentou efeito significativo para a maioria das variáveis analisadas (peso de mil grãos, produtividade, acúmulo de matéria seca e teores de N e K). O efeito da aplicação de doses N em cobertura (N Co.) na cultura do milho foi significativo para as variáveis peso de mil grãos, número de fileiras por espiga, produtividade de grãos, INN e IP. Para o fator datas de coleta, houve efeito significativo para as variáveis acúmulo de matéria seca e teor de N, P e K nas plantas de milho. Houve interação entre os fatores antecipação de N na pastagem e na palhada e de doses de N em cobertura no milho para as variáveis peso de mil grãos e produtividade de grãos. A interação entre os fatores antecipação de N e época de coleta se apresentou significativa somente para a variável acúmulo de matéria seca.

**Tabela 1 – Análise da variância da produtividade de grãos de milho, acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N e P em função dos fatores antecipação de nitrogênio, doses de nitrogênio em cobertura e tempo de coleta. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

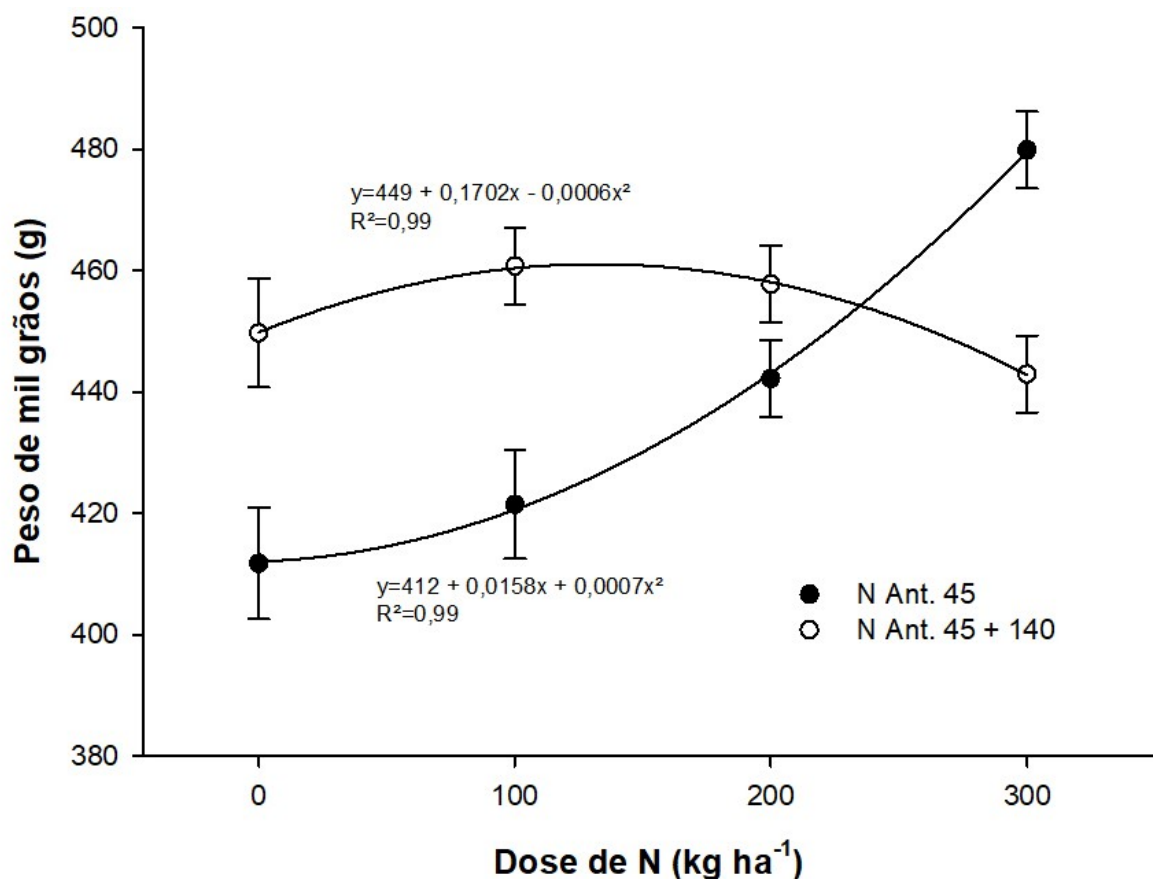
Fatores	Peso de mil grãos	Número de fileiras por espiga	Produtividade de grãos	Acúmulo de matéria seca	N	P	K	INN	IP
N Ant. (A)	0,0465*	0,9312	0,0027*	0,0055*	0,0129*	0,0677	0,0000*	0,1283	0,5550
N Co. (B)	0,0286*	0,0124*	0,0002*	0,1179	0,1400	0,7268	0,7462	0,0392*	0,0050*
Datas de Coleta (C)	-	-	-	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,3505	0,9647
AxB	0,0054*	0,3753	0,0224*	0,2245	0,4348	0,1453	0,0641	0,0802	0,7711
AxC	-	-	-	0,0003*	0,2421	0,4705	0,7961	0,6081	0,9505
BxC	-	-	-	0,7451	0,7659	0,2241	0,7156	0,8011	0,6435
AxBxC	-	-	-	0,5749	0,5162	0,8289	0,8618	0,5424	0,5805

\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

A produtividade de grãos foi influenciada pela interação entre os fatores antecipação da adubação nitrogenada (N Ant.) e doses de nitrogênio em cobertura (N Co.) (P=0,0224; Figura 4). Independentemente da quantidade de N antecipada sobre

a pastagem e palhada, houveram efeitos das doses de N em cobertura no milho 4. Contudo foi observada uma resposta mais acentuada de produtividade de grãos de milho nas parcelas onde uma menor quantidade de N foi aplicada na pastagem (N Ant. 45).

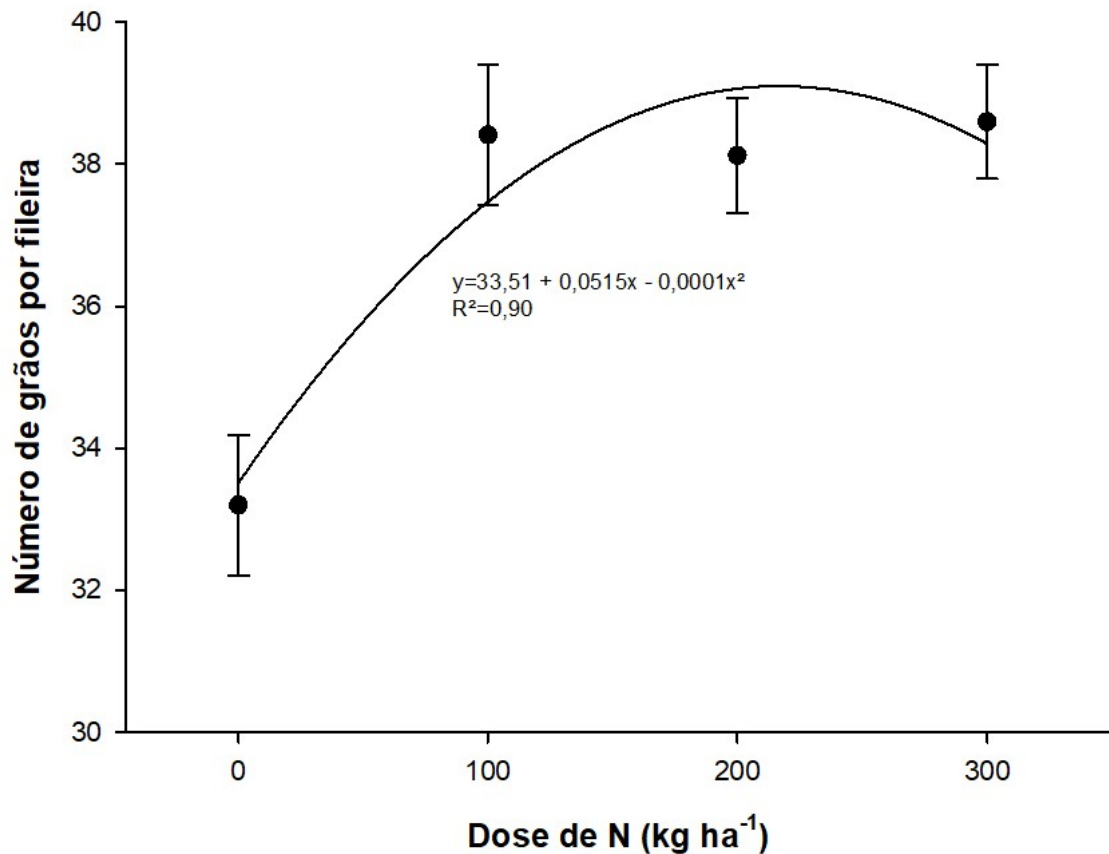
A variável peso de mil grãos foi influenciada pela interação entre os fatores de antecipação de adubação na pastagem e sua palhada e aplicação nitrogenada na cobertura do milho ( $P=0,0054$ ; Figura 2). Os maiores valores de peso de mil grãos foram verificados para o manejo de antecipação com a aplicação da dose de 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup> nas doses de 0, 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup> em cobertura na cultura do milho (456 g). Na dose de 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, houve inversão da situação, com maiores valores para as áreas que apresentaram aplicação somente de 45 kg N ha<sup>-1</sup>.



**Figura 2 – Peso de mil grãos de milho (g) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup>) e doses de nitrogênio aplicados na base da cultura do milho (0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

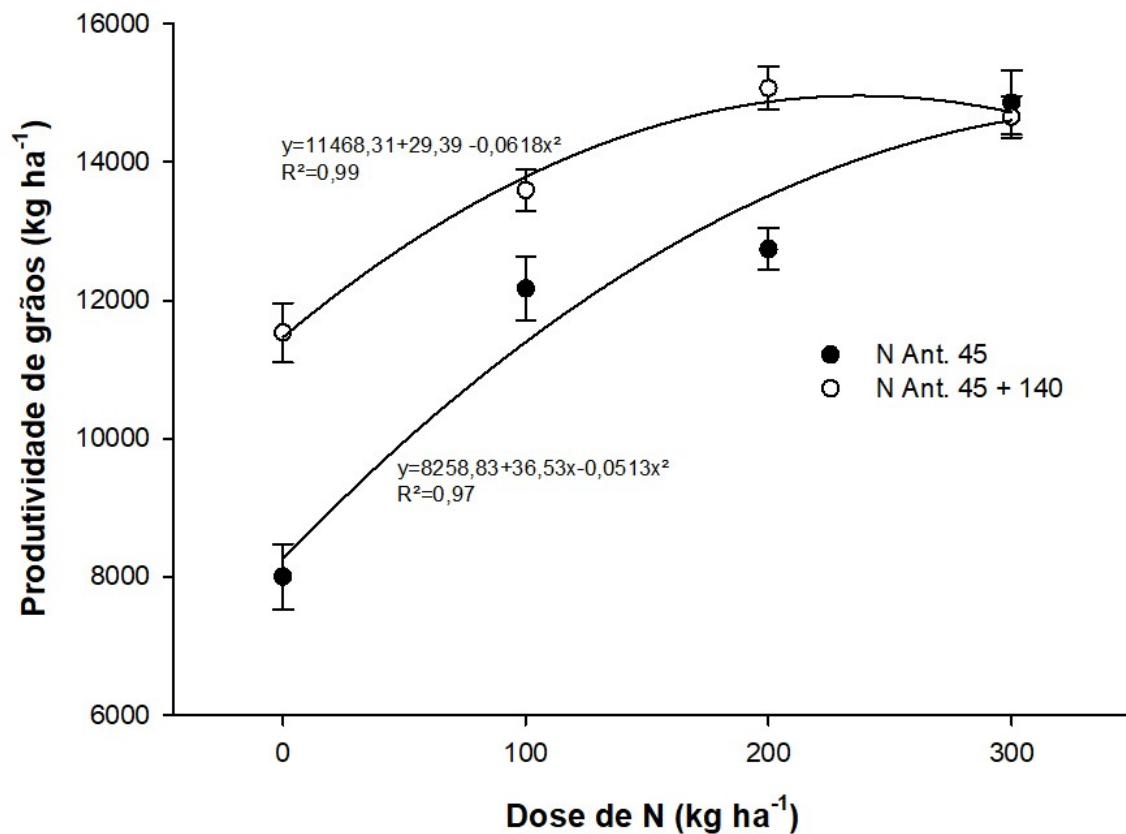
A variável grãos por fileira foi influenciada somente pelas doses de N aplicadas em cobertura ( $P=0,0124$ ; Figura 3). A aplicação das doses de 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup> afetou positivamente o número de grãos por fileira, sendo esse valor similar

(37,38) para essas doses de N. Para a dose de N 0, os valores foram inferiores, com média de 33,19 grãos por fileira.



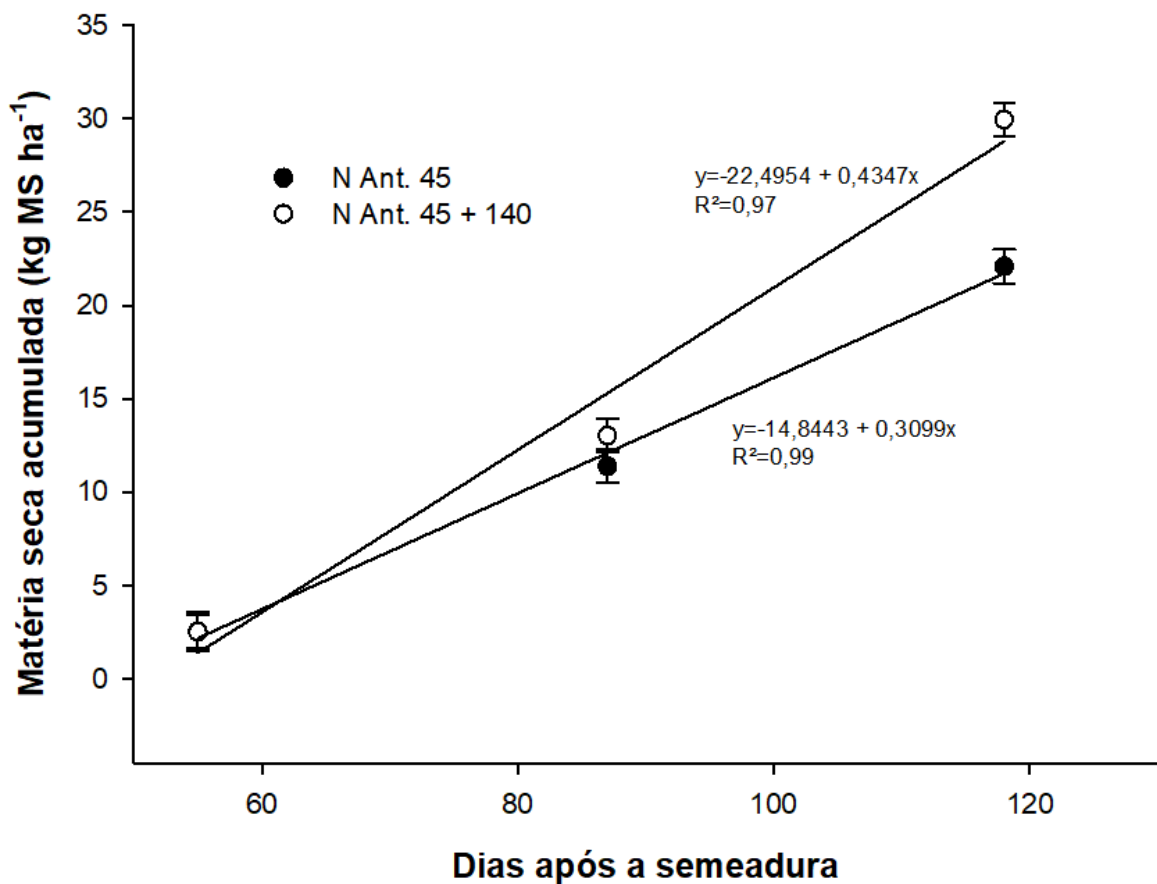
**Figura 3 – Número de grãos por fileira de milho em função de doses de nitrogênio aplicados na base da cultura do milho (0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Para as parcelas que receberam N sobre a pastagem e sobre a palhada (N Ant. 45 + 140), as respostas de produtividade de grãos ocorreram com menores amplitudes. Mesmo assim, foram nessas parcelas em que foram observadas as maiores produtividades de grãos de milho. Mesmo os locais em que o milho não recebeu adubação nitrogenada de cobertura (N Co. 0), constatou-se uma produtividade de 11.533 kg ha<sup>-1</sup>, que foi 30,1% maior do que nas parcelas que não receberam adubação de cobertura no milho e que anteriormente haviam recebido apenas 45 kg N ha<sup>-1</sup>.



**Figura 4 – Produtividade de grãos de milho (kg ha<sup>-1</sup>) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup>) e doses de nitrogênio aplicados na base (0, 100, 200, 300 kg N ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O acúmulo de matéria seca das plantas de milho foi influenciado pelas estratégias de antecipação da adubação nitrogenada e as datas de coleta da cultura ( $P=0,0032$ ; Figura 5). Como esperado, as plantas de milho apresentaram acúmulos de matéria seca de acordo com o aumento do período de cultivo a campo. No caso do tratamento N Ant. 45 + 140 esse acúmulo foi superior (22,6%), ocorrendo ao final do ciclo de desenvolvimento, quando comparado ao tratamento N Ant. 45.



**Figura 5 – Produção de matéria seca de plantas de milho (kg MS ha<sup>-1</sup>) em função de estratégias de antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 +150 kg N ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O teor N (g kg<sup>-1</sup>) das plantas de milho foi influenciado pela antecipação da adubação nitrogenada ( $P=0,0129$ ; Figura 2). As plantas de milho que receberam aplicação de 45 kg N ha<sup>-1</sup> somente na pastagem apresentaram menor concentração de N nos tecidos (16,0 g kg<sup>-1</sup>) em relação as plantas que foram cultivadas nas parcelas onde o N foi aplicado sobre a pastagem e a palhada (17,7 g kg<sup>-1</sup>). O teor de N nas plantas de milho também foi influenciado pelas datas de coleta ao decorrer do desenvolvimento da cultura a campo ( $P=0,000$ ; Tabela 2). Para esses nutrientes, ocorreu uma diminuição da sua quantidade nos tecidos com o aumento do ciclo da cultura e incrementos de matéria seca, conhecido como efeito de diluição.



**Tabela 2 – Teor de N, P e K ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da parte aérea do milho em relação nas datas de coleta dias após a semeadura (55, 87 e 118 DAS). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

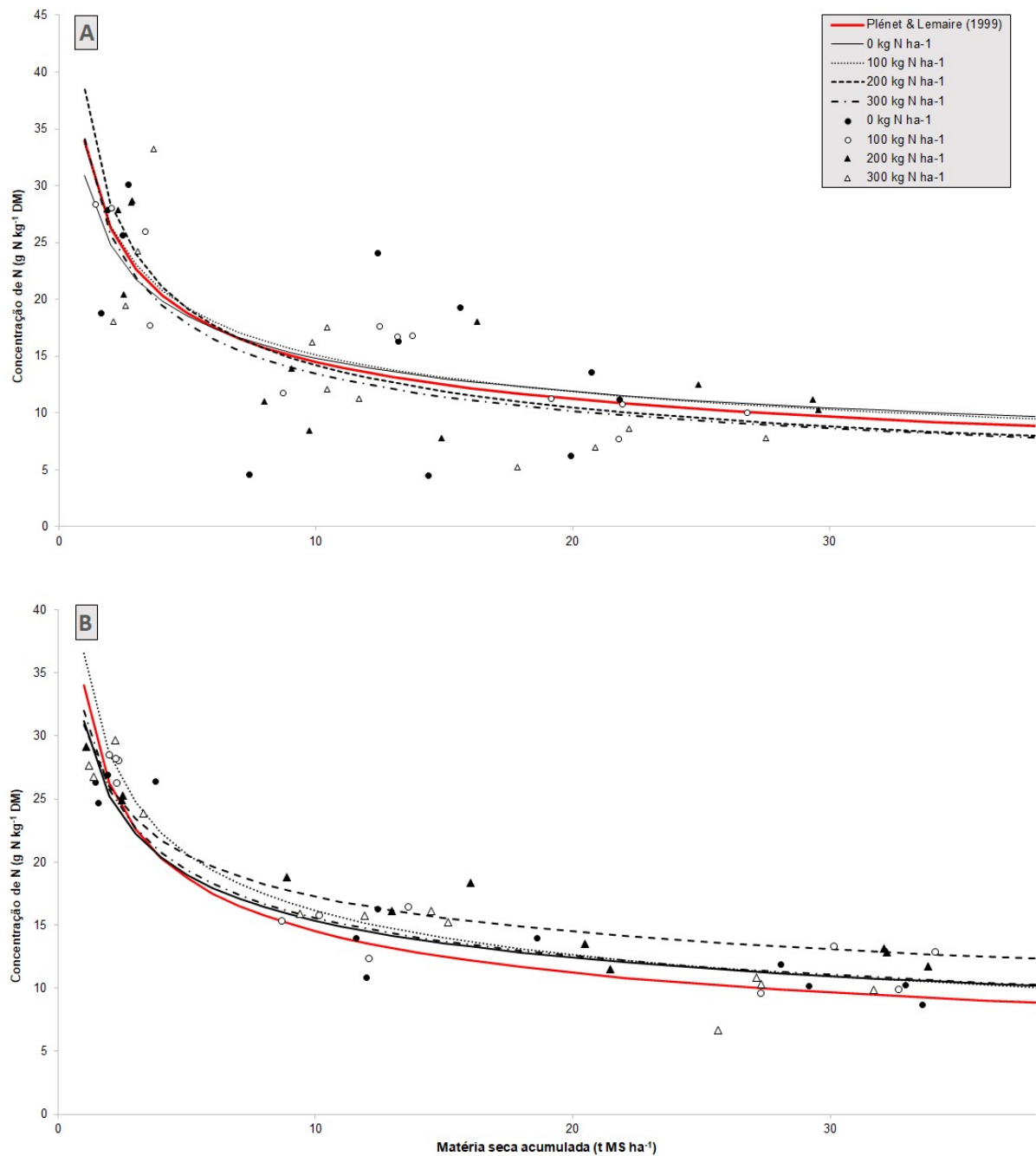
Nutriente ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Dias após a semeadura		
	55	87	118
N	25,6 a	15,0 b	9,9 c
P	4,6 a	3,4 b	2,7 c
K	41,2 a	22,1 b	5,3 c

\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

O teor P no milho foi influenciado pelo fator datas de coleta de forma isolada ( $P=0,0000$ ; Tabela 2). O teor do P no tecido das plantas de milho apresentou queda ao decorrer do ciclo de desenvolvimento da cultura, como também observado para o teor de N.

O teor de K existentes no tecido das plantas de milho foram influenciados de forma isolada pelos fatores antecipação da adubação nitrogenada ( $P=0,0000$ ) e datas de coleta ao decorrer do desenvolvimento da cultura a campo ( $P=0,000$ ; Tabela 2). O teor de K no milho foi superior para o tratamento com a aplicação de N somente sobre a pastagem na dose de  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $26,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao tratamento com aplicação de  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$  sobre a pastagem e  $140 \text{ kg N ha}^{-1}$  sobre a palhada ( $19,4 \text{ g kg}^{-1}$ ). No caso do K, também ocorreu diminuição da sua quantidade nos tecidos do milho com o aumento do ciclo da cultura e incrementos de matéria seca.

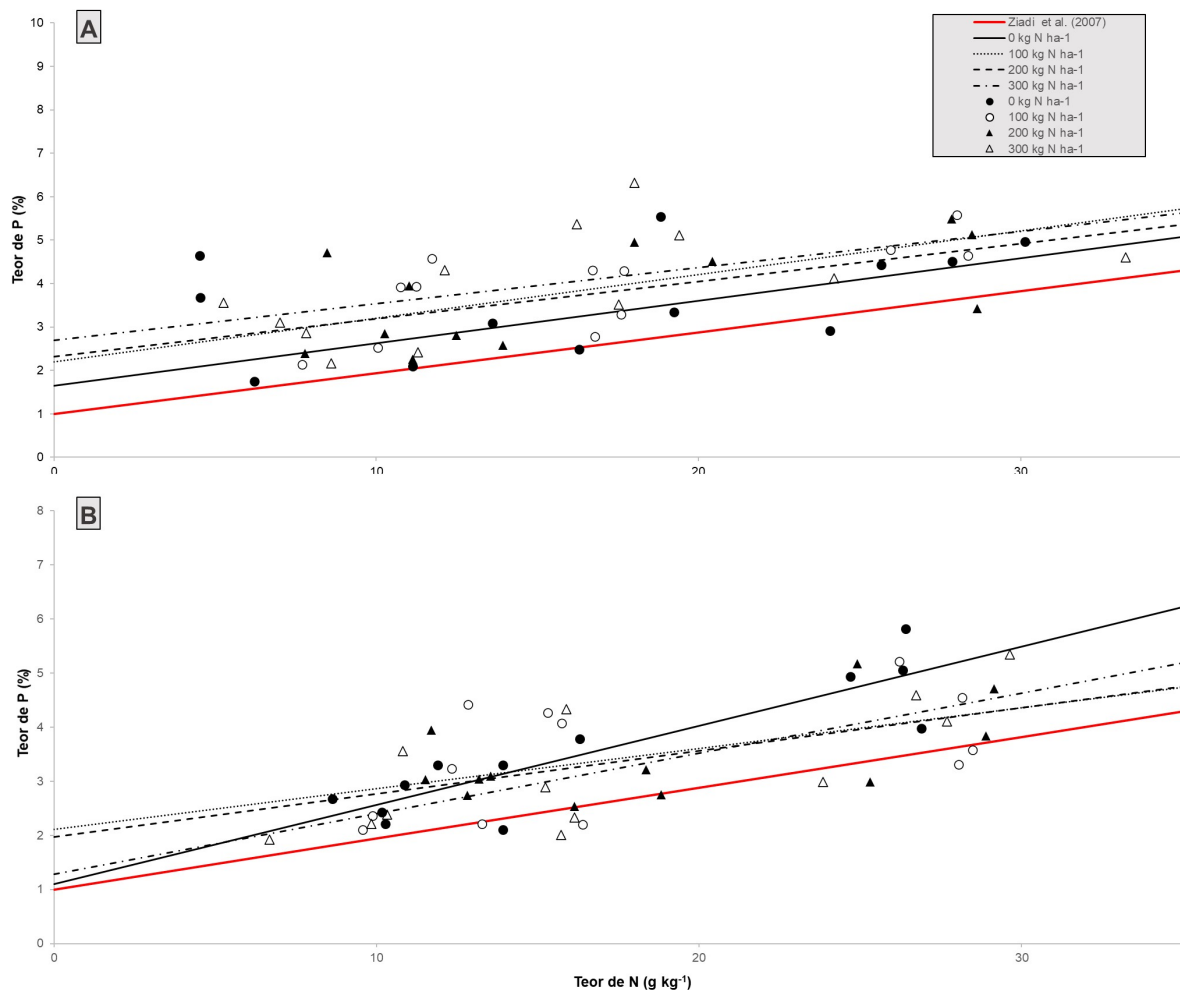
Ao realizar a combinação entre os teores de N no tecido das plantas de milho e o acúmulo de matéria seca foi possível elaborar a curva de diluição, como proposto por Plénet e Lemaire (1999). Observa-se na Figura 6A que há um número maior de pontos abaixo da curva proposta por Plénet e Lemaire (1999), indicando possíveis deficiências de N, especialmente para os tratamentos com menores doses de N em cobertura. Já para a Figura 6B, onde foram aplicadas doses suplementares sobre a palhada da pastagem (N Ant. 45 + 140) foram constatados apenas quatro pontos abaixo da curva de N crítico (PLÉNET; LEMAIRE, 1999), o que indica que essas plantas de milho apresentam níveis de N adequados em todo seu período de desenvolvimento. Ainda, destaca-se que os níveis de N nos tecidos das plantas de milho foram levemente melhorados através da aplicação do nutriente nas doses de 100, 200 e 300  $\text{kg N ha}^{-1}$  em cobertura, indicando a possibilidade de correção dos níveis através da metodologia de diluição utilizada. A não aplicação de N em cobertura resultou em quantidades inferiores de concentração de N nos tecidos, ou seja, favorecendo condições de menor nutrição.



**Figura 6 –** Teor de N da parte aérea do milho em relação a matéria seca acumulada em função dos tratamentos de (A) N Ant. 45 e (B) N Ant. 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup> sobre a pastagem e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup>), comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.

A suficiência de P nos tecidos vegetais das plantas ao decorrer de seu desenvolvimento pode ser interpretadas através da relação entre os teores de P e N, conforme proposto por Ziadi *et al.* (2007). A relação obtida entre os teores de P e N

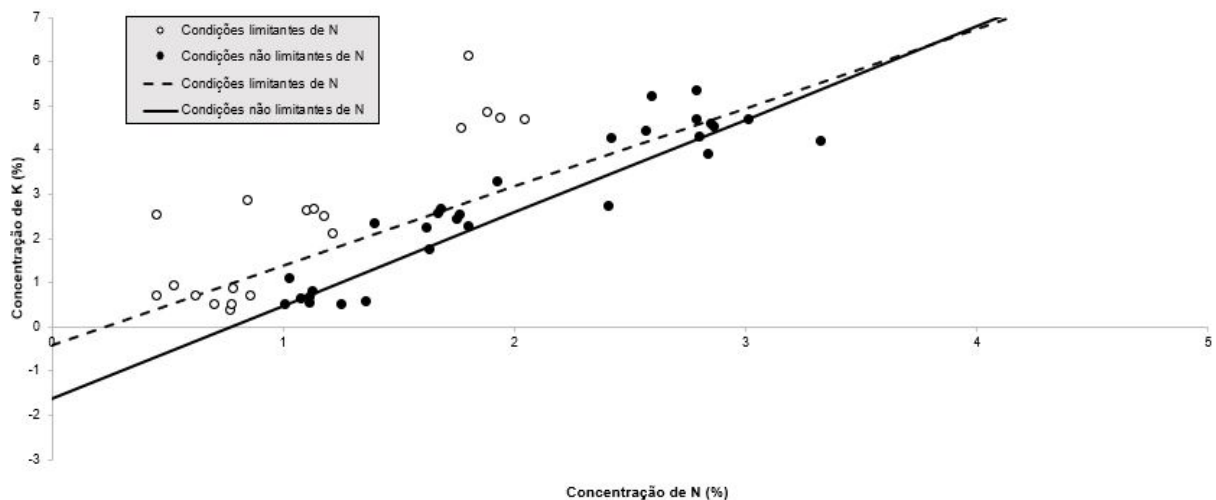
nas plantas de milho se encontra na Figura 7. Na Figura 7A e Figura 7B a maioria das retas apresentou padrão similar ao proposto por [Ziadi et al. \(2007\)](#) para plantas de milho, apresentando quedas nos níveis de fósforo acompanhado do declínio dos níveis de nitrogênio. Para avaliação do status nutricional, considera-se mais uma vez o posicionamento das retas em relação à referência, sendo que plantas com níveis mínimos necessários de P em relação ao N se posicionam acima desta. Em ambas situações de antecipação de N, como também de doses de N aplicadas em cobertura, não há restrição de P para o máximo acúmulo de matéria seca de milho para os teores de N verificados.



**Figura 7 – Teor de P da parte aérea do milho em relação ao teor de N em função da aplicação de (A) N Ant. 45 e (B) N Ant. 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup> sobre a pastagem e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 100, 200 e 300 kg N ha<sup>-1</sup>), comparadas com a curva de diluição de P para plantas de milho proposta por [Ziadi et al. \(2007\)](#). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

A avaliação da nutrição de K das plantas pode ser realizada através da relação existente entre os teores de N e K em seus tecidos, podendo-se ter uma noção

do seu nível de suficiência. Ao realizar essa análise, observa-se que a concentração de K nos tecidos das plantas de milho apresentou aumento diretamente proporcional as concentrações de N (Figura 8). Salienta-se que para a relação entre N e K não foi utilizada nenhuma reta base, visto que a mesma ainda não foi desenvolvida para plantas de milho.



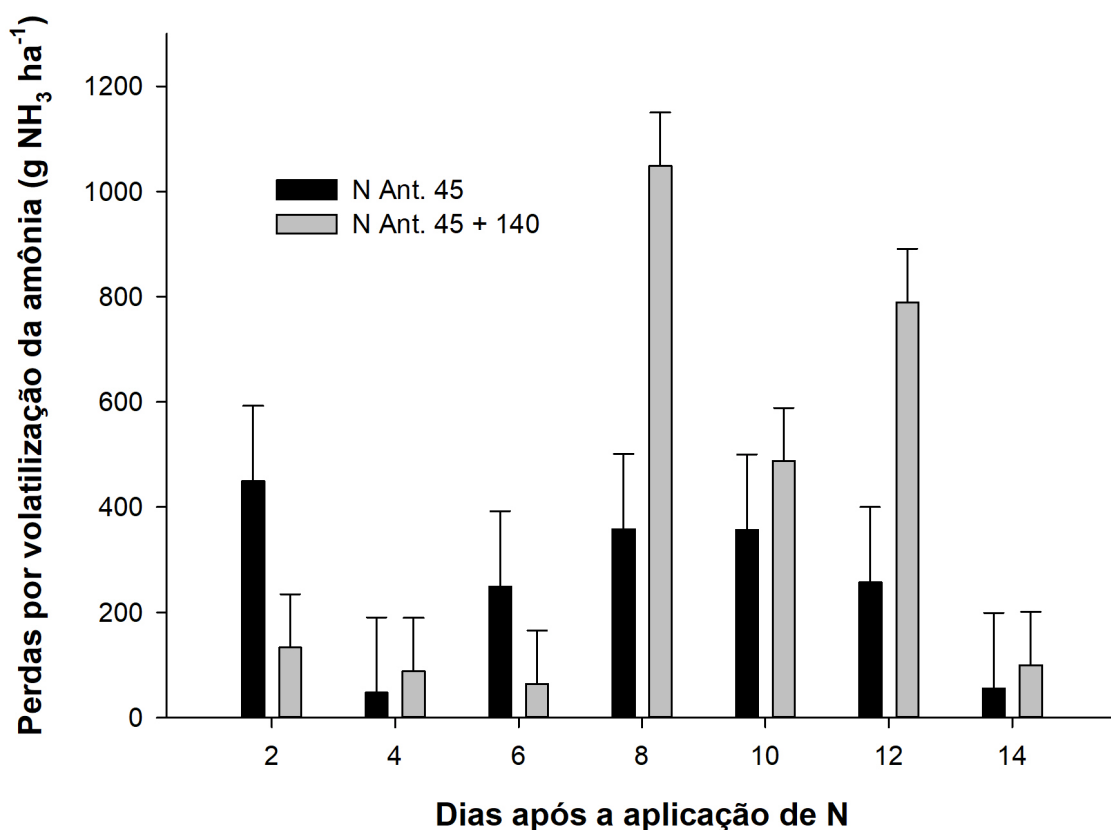
**Figura 8 – Relação entre os teores de N e K no tecido de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

No caso das condições de nutrição de N, os dados foram separados em condições limitantes e não limitantes. Percebe-se que os pontos que representam a condição limitante de N estão mais acima no gráfico, indicando que as plantas que se encontravam em situação limitante de N apresentam maiores concentrações de K em relação à condição não limitante de N.

Os índices nutricionais de N e P foram afetados pela aplicação antecipada de nitrogênio. O INN foi influenciado pela estratégia de N antecipado no sistema ( $P=0,0392$ ), com valores superiores nas áreas do tratamento N Ant. 45 + 140 (110,1) em relação à N Ant. 45 (98,9). Mesmo existindo a diferença entre os valores de INN entre os tratamentos de antecipação, salienta-se que ambas apresentam índice apontados como suficientes para expressão do máximo potencial produtivo (LEMAIRE; GASTAL; SALETTE, 1989). O IP também foi afetado pela estratégia de antecipação ( $P=0,005$ ), porém com valor superior para N Ant. 45 (156,1) em relação à N Ant. 45 + 140 (129,8). Contudo, para o IP se considera que os valores encontrados são excessivos (THÉLIER-HUCHÉ; FARRUGGIA; CASTILLON, 1999), com absorções acima do necessário para a produção máxima.

Para demonstrar o potencial de utilização da antecipação da adubação

nitrogenada, optou-se por mostrar as perdas por volatilização da amônia encontradas para o experimento. As perdas por volatilização da amônia foram influenciadas pelo interação entre os fatores de dias de realização da coleta após a aplicação do nitrogênio e pela antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup>) (P=0,0016; Figura 9). A maior perda foi encontrada aos oito dias após a aplicação do nitrogênio para o tratamento que recebeu nitrogênio sobre a palhada da pastagem (1049 g NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). Apesar do maior valor encontrado, destaca-se que o mesmo ainda se apresenta irrisório, representando uma pequena parte do N aplicado.



**Figura 9 – Perdas por volatilização da amônia em função dos dias após a aplicação do nitrogênio e antecipação da adubação nitrogenada (45 e 45 + 140 kg N ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

### 3.4 Discussão

Em todas as situações avaliadas nesse estudo, salienta-se que os valores encontrados para a produtividade de grãos de milho foram superiores à quantidade de 8.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Essas quantidades observadas para produtividade de grãos de milho são consideradas elevadas quando comparadas à média brasileira (5.355 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2019). Dessa forma, destaca-se que mesmo em situações onde

não foram realizadas aplicações de N na cobertura do milho foi possível alcançar altas produtividades de grãos.

Fica evidente (Figura 6A) que para a obtenção de maior produtividade de grãos de milho foi necessária a aplicação de N complementar sobre a palhada da pastagem. Isso porque é possível observar que somente com a aplicação de 45 kg N ha<sup>-1</sup> sobre a pastagem resultou em um maior número de pontos abaixo da curva proposta por Plénet e Lemaire (1999), indicando um menor nível de nutrição. Ainda que exista essa situação de menor nível nutricional, ressalta-se que as produtividades de grãos encontradas ainda são consideradas altas (Figura 4). Por outro lado, com a aplicação de complementação (aplicação sobre a pastagem e sobre a palhada) foram asseguradas produtividades de grãos de milho ainda mais altas, observando-se que a maioria dos pontos se apresentam acima da curva base (Figura 6B).

Ainda, destaca-se o efeito dos componentes de rendimento sobre a produtividade de grãos de milho. Considerando os maiores valores encontrados para peso de mil grãos (Figura 2) para o tratamento com a aplicação suplementar de N de forma antecipada (N Ant. 45 + 140), certamente os mesmos devem ter influenciado para que a produtividade de grãos desse tratamento fosse superior. Ainda, a crescente em produtividade para o aumento das doses de N também pode estar relacionada com o número de grãos por fileira (Figura 3). Por fim, esses aumentos estão relacionados à melhora nutrição de N das plantas de milho, correspondendo em produtividade de grãos.

Para que esses resultados de produtividade de grãos de milho (Figura 4) sejam alcançados, é importante destacar o efeito da fertilidade do solo e do efeito residual de nitrogênio no sistema sobre a nutrição das plantas. Em áreas cultivadas sob sistema de ILP existe a tendência de se aumentar as quantidades de nutrientes no solo, principalmente por conta dos maiores acúmulos de matéria orgânica em camadas superficiais do solo (SANTOS *et al.*, 2009) através de dejetos e palhada depositados. No caso do presente trabalho, as características químicas do solo confirmam esse fato, considerando que o mesmo apresenta valores classificados como altos para matéria orgânica e K e médios para P, contribuindo também para os bons resultados encontrados para produtividade de grãos.

Alguns resultados são relatados na literatura sobre o efeito da antecipação do N em pastagem sobre a produtividade de grãos de grandes culturas. Nesses estudos, que foram realizados na região Sul do Brasil, alguns autores verificaram que aplicação de doses de 200 kg N ha<sup>-1</sup> (BORTOLLI, 2016; TATTO, 2021) (dados não publicados), 225 kg N ha<sup>-1</sup> (SANDINI *et al.*, 2011) e 300 kg N ha<sup>-1</sup> (ASSMANN *et al.*, 2003) sobre o pasto possibilitaram maiores produções de grãos de milho (5.540 kg ha<sup>-1</sup>, 10.100 kg ha<sup>-1</sup> e 13.000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) cultivado na sequência. Nesse trabalho,

a utilização de um total de 185 kg N ha<sup>-1</sup> de forma antecipada respondeu a uma produção de 11.533 kg de grãos ha<sup>-1</sup>.

Trabalhos avaliando a aplicação antecipada de N no momento da semeadura sobre a palhada de gramíneas também demonstram resultados positivos. [Lange, Cabezas e Trivelin \(2009\)](#) ao avaliarem a aplicação de doses de N sobre a palhada da aveia-preta e na cobertura do milho verificaram que a aplicação da adubação nitrogenada durante a semeadura do milho não apresentou prejuízos sobre a produtividade do milho. Enfatiza-se que o número de trabalhos que envolvem a aplicação de N de forma antecipada sobre a palhada da pastagem ainda é bastante escasso, necessitando ainda de mais pesquisas sobre o assunto.

Ao se estudar a antecipação da adubação de N nos sistemas produtivos é imprescindível considerar a ciclagem dos nutrientes nos sistemas. [Assmann et al. \(2017\)](#) cita que a ciclagem é uma das mais importantes fontes de nutrientes para os sistemas integrados de produção. Segundo [Lang et al. \(2011\)](#), a aplicação de nitrogênio de forma antecipada favorece a cultura cultivada na sequência, principalmente por conta de ciclagem de nutrientes, pela adição de excrementos animais e aumento na quantidade e diversidade de microrganismos do solo. Ainda, deve-se considerar que a própria quantidade de nutrientes, principalmente de N, que é incorporada pela pastagem, é disponibilizada em sequência com a decomposição desse material. Por conta disso, o processo se torna fundamental, principalmente considerando a realização da adubação considerando o sistema produtivo. Logo, as observações realizadas nesse trabalho são de fundamental importância, visto que atualmente o manejo do nitrogênio é realizado em sua grande maioria com a aplicação parcelada em cobertura. Contudo, através do presente trabalho é possível perceber que a aplicação antecipada do N possibilita boa nutrição das plantas de milho, assegurando altas produtividades, com perdas mínimas de nitrogênio através da volatilização de amônia (Figura 9).

A ciclagem no N no sistema pode ser evidenciada mais uma vez através dos dados obtidos para o acúmulo de matéria seca das plantas de milho (Figura 5). O efeito da antecipação do N pode ser observado somente no final do ciclo da cultura, ou seja, demonstrando mais uma vez que o nutrientes permanece dentro do sistema, resultando em ganhos produtivos. Sabe-se que existe a atuação do nutriente sobre a multiplicação e aumento de células em pontos de crescimento ([ALI; ANJUM, 2017](#)), resultando em produções superiores ([GODIM et al., 2016](#)). [Menezes et al. \(2018\)](#) observaram tal situação com plantas de milho, em que o aumento das doses de N possibilitaram aumento de 30,1% a mais de matéria seca por hectare. Por conta disso, a maior dose de N utilizada em antecipação levou a maiores acúmulos de matéria seca.

Reforça-se o fato de que as doses de N aplicados em cobertura no milho não surtiram efeitos sobre o acúmulo de matéria seca dessas plantas (Figura 5),

demonstrando mais uma vez que a aplicação antecipada com doses complementares ( $45 + 140 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) são suficientes para promover uma nutrição adequada de N das plantas e altas produções. No caso das recomendações clássicas de N para o milho, tem-se indicações de aplicação de N nos estágios V4 a V6 (SBCS, 2017), por ser a época de maior necessidade do nutriente pelas plantas. Porém, com o presente trabalho, percebe-se que a aplicação antecipada foi mais importante para um bom desenvolvimento das plantas, para regularização microbiológica do solo e para o acúmulo de matéria seca das plantas de milho do que a aplicação de doses elevadas de N na cobertura do milho.

Ressalta-se que o acúmulo de matéria seca de plantas de milho obtido nesse trabalho ( $32 \text{ t ha}^{-1}$ ) se apresenta muito superior aos valores encontrados normalmente na literatura. Apesar disso, esses valores são possíveis de serem alcançados ao final do cultivo, como observado pelos autores (PINHO *et al.*, 2009b; LI *et al.*, 2015) para a cultura do milho. Por fim, esses grandes acúmulos de matéria seca sustentam a produtividade de grãos também encontrada no presente trabalho.

Os teores de N, P e K apresentaram queda durante o ciclo de desenvolvimento (Tabela 2). A queda nos teores dos nutrientes nos tecidos das plantas estão relacionados ao efeito de diluição na matéria seca. Ao decorrer do ciclo das plantas, há o aumento na matéria seca acumulada e com isso, as concentrações de N, P e K decaem. No caso do N, esse decréscimo é explicado pela variação na concentração de N existem entre as folhas no dossel – folhas que estão na porção superior do dossel apresentam maiores teores de N (PONS; PEARCY, 2006), além do próprio acúmulo de material estrutural com baixo teor de N ao decorrer do tempo (CALOIN; YU, 1984). Autores como Lunjing *et al.* (2020), Zhou *et al.* (2020) e Maccari *et al.* (2021) encontraram comportamento de diluição de nutrientes semelhante para plantas de milho.

Para os tratamentos de antecipação de N, os teores de N no tecido das plantas de milho foram favorecidas pela aplicação adicional, resultando em maiores quantidades absorvidas do nutriente. A exemplo, Maccari *et al.* (2021) ao trabalharem com antecipação da adubação sobre pastagem de inverno encontraram incrementos no teor de N no milho cultivado em sequência. Para os autores, esse aumento foi possível através da ciclagem de nutrientes, havendo a passagem de nutrientes entre os cultivos. Possivelmente, essas concentrações de N no tecido das plantas encontradas nesse trabalho estejam relacionados ao encontrado nesse trabalho para o acúmulo de matéria seca, produtividade de grãos e o efeito sobre o peso de mil grãos (Figura 2, Figura 4 e Figura 5). Mais uma vez, observa-se que o efeito a aplicação antecipada, diferente dos moldes tradicionais, traz bons benefícios para a produção no sistema.

Um ponto importante a ser destacado é o fato de que a velocidade de



disponibilização de nutrientes dentro do sistema produtivo pode ter sido modificada através da mudança na relação C:N do material. Com maiores aportes de N em uma área de pastagem, pode-se mudar a relação, havendo quantidades maiores de materiais mais facilmente decomponíveis, favorecendo a decomposição desse resíduo (APOLINÁRIO *et al.*, 2013) e a passagem de nutrientes para outros compartimentos do sistema. Considera-se também que melhores condições de N no solo podem reduzir problemas de imobilização microbiológica decorrente do cultivo de gramíneas no inverno, restringindo quantidades disponíveis no solo (ASSMANN *et al.*, 2018). As quantidades de N também atuam sobre a imobilização microbiológica de N (CABEZAS; COUTO, 2007) pela palhada de gramíneas (C:N alta), havendo disponibilidade de nutrientes suficiente para microrganismos e para as plantas de milho. Para o presente estudo, a área com aplicação adicional de N (N Ant. 45 + 140) respondeu melhor em concentração de N nos tecidos do milho. Essas maiores concentrações também devem estar relacionadas aos valores encontrados para produção de grãos e matéria seca, considerando a relação entre o teor de N no tecido sobre a capacidade fotossintética das plantas (CAIRES; MILLA, 2015), produtividade de grãos (ZIADI *et al.*, 2010), além do acúmulo de matéria seca e o peso de mil grãos.

A boa nutrição das plantas de milho, confirmada através das curvas de diluição, também foi confirmada através do INN adequado para as situações de antecipação, confirmando a possibilidade de utilização do manejo de antecipação da adubação nitrogenada em sistema ILP em ambiente tropical. Muitos trabalhos também confirmam a possibilidade de inversão da adubação nitrogenada com as mesmas ferramentas. Bernardon *et al.* (2021) afirma que a adubação em nível de sistema se apresenta como uma forma contrastante do paradigma criado para adubação de culturas, sendo possível a adubação considerando a manutenção da fertilidade do solo e considerando a ciclagem de nutrientes entre as fases de cultivo. A ideia de inversão da adubação também foi testada por Maccari *et al.* (2021) em sistema ILP, onde a aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> sobre pasto composto por aveia-preta possibilitou nutrição adequada de N para planta de milho cultivadas em sequência, consequência do efeito residual. Por conta disso, os autores salientam a necessidade de se considerar esse efeito nas recomendações de adubação em SIPA. Com a utilização do mesmo protocolo de inversão (antecipação de N com aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> sobre a pastagem), Levinski-Huf (2018) avaliaram o efeito sobre milho silagem e também verificaram que a antecipação de N não tem interferência positiva sobre a nutrição nitrogenada das plantas. Enfatiza-se dessa forma, que a utilização das curvas de diluição, bem como dos índices nutricionais, tornam-se ferramentas adequadas para a avaliação do estado nutricional de N para plantas dentro dos SIPA.

No caso dos nutrientes P e K também foi possível explorar o status nutricional das plantas através da relação existente entre N:P e N:K. Salienta-se os valores de

P e K nos tecidos das plantas de milho foram altos em todos os momentos de avaliação. Isso é assegurado pelo sistema de produção que apresentam níveis considerados médios e altos para esses nutrientes no solo. A baixa nos teores encontrados para P e K na matéria seca durante o desenvolvimento do milho também são decorrentes da diluição de nutrientes nos tecidos (GAGNON *et al.*, 2020; SALETTE; HUCHÉ, 1991).

Em especial para o P, os valores se mantiveram adequados por todo o ciclo de desenvolvimento do milho, indicando a não necessidade de aplicação de P sobre as plantas de milho. Essa indicação se contradiz às indicações normalmente realizadas para P, considerando que o valor no solo é tido como médio (SBCS, 2017). Lembra-se que a concentração do P nos tecidos é totalmente dependente do estoque existente no solo, como também à absorção de N (CADOT *et al.*, 2018), corroborando com o citado acima. No presente trabalho, foi encontrada relação positiva entre os teores de N e K na plantas de milho. Ma *et al.* (2016) também verificaram relação semelhante, sendo que os autores apontam que a dose aplicada de nitrogênio sobre plantas de milho atua positivamente sobre a absorção de P e seu acúmulo nos tecidos. Briat *et al.* (2020) também constaram a forte relação existente entre N e K. Dessa maneira, locais que não apresentam limitações em relação à N poderiam também proporcionar melhores nutrições para P e K, considerando essa relação positiva (LEMAIRE; SINCLAIR; BÉLANGER, 2019). Assim, as condições de solo impostas por cultivos em SPD e ILP promovem maior estabilidade e manutenção da fertilidade do solo, proporcionando boas condições nutricionais e ganhos produtivos.

No caso do potássio, também foi encontrada relação positiva entre as concentração de N e K nos tecidos das plantas de milho. Assim, sabe-se que a nutrição nitrogenada tem influência direta sobre a absorção de K nas plantas de milho. Para essa relação, ainda não existem retas base elaboradas que consigam demonstrar essa relação entre N:K para milho como se observa para a relação N:P. Mesmo assim, pode-se dizer que o nível nutricional de K nas plantas foi suficiente para nutrir as plantas de milho, considerando as quantidades de K em seu tecidos, como também as respostas produtivas.

Um fato a ser frisado para o K está no fato do nutrientes se apresentar como um componente não estrutural nas células (HAWKESFORD *et al.*, 2012), estando propenso à lixiviação mesmo quando as plantas estão sendo cultivadas. Essa condição pode ser observada no presente estudo, visto a grande queda da concentração de K nos tecidos das plantas de milho durante o cultivo. As condições observadas no experimento em final de ciclo remetem a uma média de pluviosidade de 123 mm mensais, ou seja, condições situações favoráveis a perdas do nutriente, principalmente com o início da senescência dos tecidos. Maccari *et al.* (2021) encontraram em seu trabalho situação similar de lixiviação do K nos tecidos, além de afirmar a interferência

das quantidades de N sobre a absorção de K para milho.

### **3.5 Conclusões**

A antecipação da adubação nitrogenada com aplicação sobre a pastagem e sobre a palhada ( $45 + 140 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) não resulta em prejuízos para a nutrição de N, P e K das plantas de milho.

Existe uma relação positiva entre a concentração de N e P e para N e K para plantas de milho.

As curvas de diluição de N são boas indicadoras do status nutricional de nitrogênio de plantas de milho.

## 4 Adubação de sistemas: antecipação de nitrogênio sob palhadas de gramíneas

### 4.1 Introdução

Uma das grandes revoluções ocorridas na agricultura brasileira está na adoção do SPD nas áreas de produção. Atualmente, sabe-se que no Brasil grande parte das áreas são cultivadas sob o sistema, chegando a 33 milhões de hectares (IBGE, 2017). O SPD tem como princípios o não revolvimento do solo, adoção de rotação de culturas e, principalmente, a manutenção de palha sobre o solo. Entre os principais benefícios proporcionados por esses princípios estão a diminuição das perdas de solo (MERTEN *et al.*, 2015), manutenção da umidade de solo (DEON, 2017), contribuição para melhora da física, química e biologia do solo (ROSA *et al.*, 2015) e a contribuição para a ciclagem de nutrientes (MIGUEL *et al.*, 2018) do sistema.

Um ponto extremamente importante para o SPD está na utilização de diferentes plantas de cobertura. Na região Sul do Brasil as plantas de cobertura geralmente são cultivadas no período de inverno justamente com o intuito de formação de palhada. Entre as principais espécies utilizadas se destaca o cultivo da aveia-preta. A grande utilização vem de características de alta produção de matéria seca (BUENO *et al.*, 2020), resultando em um grande aporte de material sobre o solo. Em trabalho desenvolvido por Koefender *et al.* (2016) comparando diferentes plantas de cobertura mostra uma produção de matéria seca de 2.743 kg MS ha<sup>-1</sup> para a aveia-preta, sendo considerado o maior valor de produção entre as coberturas avaliadas. Krenchinski *et al.* (2018) ao avaliarem o efeito de diferentes coberturas de solo sobre o desenvolvimento da soja, encontrou valores médios de produção de matéria seca de aveia-preta de 6.490, 3.980, e 5.303 kg MS ha<sup>-1</sup> em três anos de avaliação.

A utilização de plantas de cobertura sobre o solo tem papel fundamental sobre a ciclagem de nutrientes no SPD (KOEFEENDER *et al.*, 2016). Essas plantas interferem sobre o fluxo de nutrientes, visto que absorvem nutrientes do solo, por muitas vezes em camadas não exploradas pelas culturas comerciais (OGILVIE *et al.*, 2021), estocando nutrientes em seus tecidos. Com a senescência desse material pode existir a liberação gradual desses nutrientes estocados, contribuindo assim para a nutrição das culturas cultivadas na sequência. Piva *et al.* (2021) ao desenvolver trabalho com diferentes culturas de cobertura de inverno avaliando seu efeito sobre a produção de grãos de milho observaram que a biomassa sobre o solo tem grande influência sobre a produtividade de grãos, além de interferir sobre necessidade de aplicação de N na cultura. Assim, quando realizado o plantio do milho seguido das culturas de aveia-preta, por exemplo, é possível ter maiores rendimento em comparação ao pousio.

Apesar da grande utilização e dos benefícios no cultivo de gramíneas como plantas de cobertura, a imobilização temporária de nutrientes pelos microrganismos pode ser um entrave nos sistemas de produção. Gramíneas geralmente fornecem palhadas com alta relação C/N para o sistema. Com a decomposição desse material, muitas vezes, não há N suficiente no material para suprir a demanda microbiológica (LIU *et al.*, 2016; VALICHESKI *et al.*, 2020), sendo assim necessário se utilizar da reserva existente no solo. A partir disso, a disponibilidade de N no solo fica restrita e pode causar deficiência do nutriente nas plantas cultivadas em sequência (ACOSTA *et al.*, 2014), provocando perdas em produtividade.

Uma forma de diminuir os efeitos imobilização microbiológica de N é a antecipação da adubação nitrogenada. A aplicação de N sobre os resíduos culturais pode fazer com que a disponibilidade do nutriente seja aumentada (CABEZAS; COUTO, 2007), não havendo competições e efeitos negativos sobre a cultura comercial. Rocha *et al.* (2014) em seu trabalho avaliando a a viabilidade da realização da antecipação da adubação nitrogenada na rotação aveia-preta-milho, concluíram que a antecipação da adubação nitrogenada em pré-semeadura não afetou a produtividade de grãos, sendo tão eficiente quanto a aplicação em cobertura no milho. Reginatto *et al.* (2021) observaram em seu trabalho que a realização da adubação nitrogenada no momento da semeadura promoveu os maiores acúmulos de biomassa e as maiores produções de grãos de milho, mostrando a possibilidade da realização da antecipação sem prejuízos produtivos.

Ainda que se possam visualizar os resultados da antecipação da adubação nitrogenada sobre a produtividade das culturas, também é importante ter conhecimento sobre a nutrição das plantas cultivadas na rotação. Para isso, pode-se fazer uso das curvas de diluição e índices nutricionais para se conhecer o real status nutricional das plantas em determinado momento. Essa metodologia é baseada na verificação da quantidade de nutrientes presente no tecido das plantas em função da quantidade de matéria seca acumulada (LEMAIRE; SALETTE, 1984), obtendo-se valores críticos necessários para se obter produções máximas. Com isso, é possível ter real conhecimento do efeito da realização do manejo da adubação no sistema, podendo se tornar uma ferramenta poderosa na predição do status nutricional.

Considerando o exposto acima, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da cobertura de solo e do manejo do nitrogênio sobre o status nutricional de plantas de milho e milheto usando o conceito de curvas de diluição de N e relação entre N, P e K na matéria seca.

## 4.2 Material e métodos

O experimento foi realizado durante o período de 2016 a 2018. O mesmo foi constituído por duas fases de avaliação de plantas. A primeira fase foi desenvolvida com a cultura do milho (*Pennisetum glaucum*) e a segunda com a cultura do milho (*Zea mays*). Ambos foram realizados na estação experimental do IDR (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná) localizada no município de Pato Branco-Paraná (26°07'23,4"S; 52°39'08,2"W) sob clima Cfa (Koppen). O solo é classificado como Latossolo vermelho distroférico, de textura muito argilosa (72% de argila) e relevo suave ondulado, em sistema de plantio direto. Os dados meteorológicos do período experimental estão dispostos na Figura 10. As características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm no início do período experimental eram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,4; matéria orgânica (MO) = 45,9 g dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich-I) = 25,9 mg dm<sup>-3</sup>; K (Mehlich-I) = 0,37 cmol<sub>(c)</sub>dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,4 cmol<sub>(c)</sub>dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,87 cmol<sub>(c)</sub>dm<sup>-3</sup>; V% = 26%; CTC = 12,21 mg dm<sup>-3</sup>.

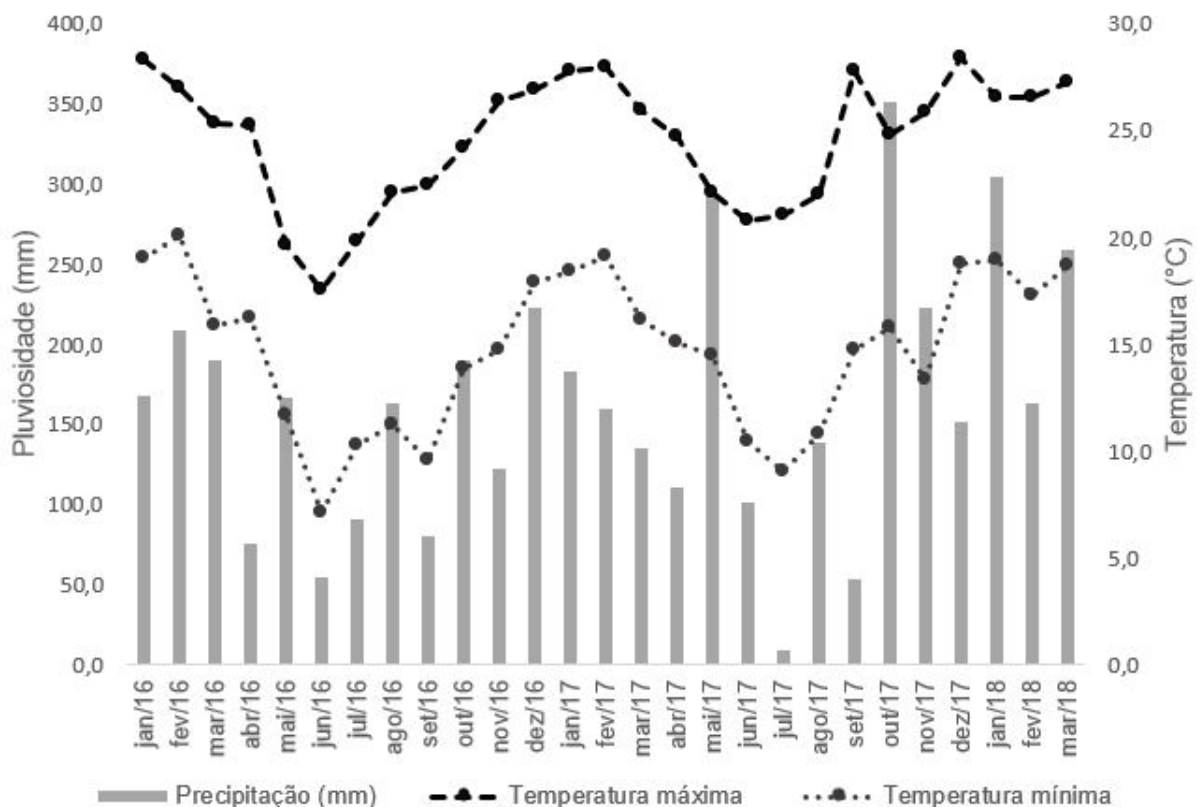


Figura 10 – Dados de temperatura máxima, mínima e de pluviosidade média durante o período experimental. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.

O experimento desenvolvido para a determinação do status nutricional e produção de matéria seca do milho foi executado através do delineamento de blocos

ao acaso com quatro repetições com parcelas subdivididas no tempo e no espaço. O primeiro fator foi instalado nas parcelas principais e foi constituído pelo manejo de inverno realizado anterior ao cultivo do milho, ou seja, áreas cultivadas com cobertura de aveia (Com Cobertura) e áreas em pousio (Pousio). O segundo fator estudado foi aplicado nas sub-parcelas e foi composto pelo tempo de aplicação de  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS) do milho. O terceiro fator avaliado nas sub-sub-parcelas foram as coletas de plantas aos 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62 e 69 dias após a semeadura (DAS).

A aveia-preta de cobertura utilizada foi a IAPAR 61, semeada no mês de maio de 2016, com a utilização de semeadora adubadora, com espaçamento de 17 cm entre linhas e densidade de semeadura de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Não houve aplicação de fertilizantes no momento da semeadura. Já nas áreas de pousio, não foram cultivadas plantas e não houve adubação, havendo somente o desenvolvimento das plantas que surgiram de forma espontânea. Em relação a plantas daninhas, também não foi realizado controle. Em nenhuma das áreas houve aplicação de fertilizante em cobertura. No momento do florescimento da aveia (06 de outubro de 2016) foi realizado o manejo da cobertura de aveia e com pousio através da aplicação de dessecante glifosato na dose de  $2 \text{ L ha}^{-1}$  e posterior utilização de rolo-faca.

No dia 25 de novembro de 2016 foi realizada a semeadura do milho (BRS 1501), utilizando-se uma semeadora adubadora com espaçamento entre linhas de 22,5 cm e densidade de sementes de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ . A adubação de base foi realizada através de produto formulado (04-28-16) com a aplicação de  $250 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondendo a  $20 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ,  $140 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  e  $80 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ . A emergência das plantas ocorreu no dia 02/12/2016. As aplicações de nitrogênio em cobertura na cultura do milho ocorreram aos 15, 30 e 45 DAS na dose de  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  na forma de ureia (45%). Durante o desenvolvimento do milho, foram realizadas coletas das plantas inteiras (a partir de  $1 \text{ t MS ha}^{-1}$ ) aos 20, 27, 34, 41, 48, 55, 62 e 69. As amostragens foram realizadas através de corte rente ao solo com auxílio de um quadro metálico com área de  $0,25 \text{ m}^2$  de forma aleatória.

O experimento desenvolvido em relação ao status nutricional da cultura do milho foi realizado no ano de 2017 sob delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas subdivididas no tempo e no espaço. O fator estudado nas parcelas principais foram as doses de antecipação de adubação nitrogenada (0 e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), realizada em pré-semeadura do milho (PS) e sob a palhada de aveia-preta (*Avena strigosa*). Já o segundo fator avaliado nas sub-parcelas foram doses de nitrogênio (0 e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) aplicados em cobertura da cultura (CO) do milho no estágio fenológico V6. O terceiro fator estudado e aplicado sobre as sub-sub-parcelas foram as datas de coleta das plantas após a semeadura que

ocorreram aos 37, 44, 51, 58, 69, 90 e 149 DAS. Para os componentes de rendimento da cultura do milho foram considerados somente os fatores aplicados nas parcelas e subparcelas (dose de N antecipado sobre a aveia e N aplicado sobre a cultura do milho).

A aveia-preta utilizada para cobertura de solo foi a IAPAR 61. A semeadura foi realizada no mês de maio na densidade de 60 kg de sementes ha<sup>-1</sup>. Não foi realizada adubação da cultura em sua base, nem em cobertura. Durante o florescimento da cultura, foi realizado o manejo da cobertura de solo com a utilização de glifosato na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>. Anterior a semeadura do milho, foi realizada a aplicação de nitrogênio de forma antecipada na palhada da aveia-preta na dose de 150 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de ureia (45%) para formação do tratamento 150 kg N ha<sup>-1</sup> PS.

A semeadura do milho foi realizada no dia 02 de novembro de 2017, utilizando-se o híbrido Balu 250 Pro. A semeadura foi realizada com uso de uma semeadora adubadora na forma de plantio direto na sobre a palhada de aveia-preta. O espaçamento utilizado foi de 0,80 m entre linhas e população de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de base utilizada foi de 150 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 12-31-17, correspondendo a 18 kg de N ha<sup>-1</sup>, 46,5 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 25,5 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. As plântulas de milho emergiram no dia 09 novembro de 2017. No dia 09 de dezembro de 2017 foi realizada a aplicação em cobertura na dose de 150 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de ureia (45%) no estágio fenológico V6 da cultura para formação do tratamento com aplicação de 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Durante o crescimento e desenvolvimento do milho, foram realizadas coletas aos 30, 37, 44, 51, 58, 69, 90 e 149 DAS com corte de plantas inteiras em uma área de 1,6 m<sup>2</sup> (um metro linear em duas linhas de plantio).

Após as coletas das plantas, em ambos experimentos foi realizada a pesagem das amostras para obtenção da produção de matéria verde. Após, as amostras foram trituradas em triturador forrageiro, retirando-se uma subamostra representativa e homogênea. Essas amostras foram levadas à estufa de circulação de ar forçada a 55 °C até peso constante. Logo, as amostras foram novamente pesadas e foram obtidos os valores de porcentagem de matéria seca das amostras e o acúmulo de matéria seca por hectare. As mesmas amostras foram moídas em moinho tipo *Willey* com malha de 1 mm. Após, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de análises de plantas do IDR/IAPAR, para a determinação dos teores de N, P e K.

Através dos teores de N, P e K determinados em laboratório foi possível desenvolver índices nutricionais e as curvas de diluição para a cultura do milho. As curvas de diluição de N foram determinadas com a utilização dos dados de matéria seca acumulada e concentração de nitrogênio nos tecidos da planta de milho através da seguinte equação:

$$\%N = a(MS)^{-b}$$



Onde MS representa a quantidade de matéria seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ); N% representa a concentração de N nas plantas de milho; a representa a concentração de nitrogênio em 1 tonelada de matéria seca acumulada por hectare; b é um coeficiente adimensional que representa a velocidade de redução do teor de N durante o crescimento e desenvolvimento da planta. As curvas obtidas foram comparadas com a proposta por [Plénet e Lemaire \(1999\)](#) para a cultura do milho.

Para a determinação da relação de N:P, foram utilizadas as concentrações de N e P existentes no tecido das plantas de milho. As equações desenvolvidas foram geradas de acordo com a equação:

$$P = a + b \cdot \%N$$

As retas desenvolvidas também foram comparadas com a reta desenvolvida por [Ziadi et al. \(2007\)](#) para plantas de milho.

Para a relação entre N e K, foram utilizadas as concentrações de N e K no tecido das plantas considerando o Índice Nutricional Nitrogenado (INN). Assim, considerou-se situações limitantes ( $\text{INN} > 100$ ) e não limitantes de N ( $\text{INN} < 100$ ). As equações lineares foram geradas com base na equação:

$$K = a + b \cdot \%N$$

Todas as retas desenvolvidas para a relação N e P e N e K foram submetidas ao teste de paralelismo onde foram comparados as intercepções em Y (coeficiente a) e as inclinações (coeficiente b).

Para a determinação do índice nutricional nitrogenado (INN) das plantas de milho também foram utilizados dados de matéria seca acumulada e a concentração de nitrogênio nos tecidos através da equação proposta por [Lemaire, Gastal e Salette \(1989\)](#):

$$\text{INN} = \frac{(100 \cdot N\%)}{3,4(MS)^{-0,37}}$$

Onde N% representa o teor de nitrogênio no tecido das plantas de milho e MS representa a produção de matéria seca ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ). A interpretação do INN ocorreu de acordo com a classificação:  $> 100$  = excedente;  $80 - 100$  = satisfatório;  $60 - 80$  = inadequado;  $< 60$  muito pobre.

O índice nutricional de P (IP) foi calculado a partir do proposto por [Ziadi et al. \(2007\)](#) utilizando a seguinte equação:

$$IP = \frac{100 \cdot P\%}{1,0 + 0,094N\%}$$

Onde N% e P% representam os teores de nitrogênio e fósforo, respectivamente, nos tecidos das plantas de milho e MS representa a produção de matéria seca (kg MS ha<sup>-1</sup>).

Para a interpretação de IP, utilizou-se a seguinte escala (THÉLIER-HUCHÉ; FARRUGGIA; CASTILLON, 1999): > 120 excedente; 100 – 120 muito satisfatório; 80 – 100 satisfatório; 60 – 80 insuficiente; < 60 muito insuficiente.

As curvas de diluição de nutrientes foram determinadas com a utilização dos dados de matéria seca acumulada e concentração de nitrogênio nos tecidos da planta de milho através da seguinte equação:

$$\%N = a(DM)^{-b}$$

Onde MS representa a quantidade de matéria seca (t ha<sup>-1</sup>); N% representa a concentração de N nas plantas de milho; a representa a concentração de nitrogênio em 1 tonelada de matéria seca acumulada por hectare; b é um coeficiente adimensional que representa a velocidade de redução do teor de N durante o crescimento e desenvolvimento da planta. As curvas obtidas foram comparadas com a proposta por Plénet e Lemaire (1999) para a cultura do milho.

Para a determinação da produtividade de grãos de milho, foram colhidas todas as espigas em uma área de 6,75 m<sup>2</sup> no centro de cada sub-parcela. Após, os grãos de todas as espigas foram debulhados e pesados. O peso de grãos foi corrigido para umidade de 13% e o valor foi extrapolado para hectares.

Foram realizadas análises dos componentes de rendimento do milho. Avaliou-se o peso de mil grãos, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e população de plantas por metro quadrado. Para essas avaliações, retirou-se uma subamostra composta por vinte espigas de cada sub-parcela. Foi realizada a contagem de número de fileiras e o número de grãos em três fileiras aleatórias de cada espiga. Após a debulha do material, realizou a contagem e a pesagem 300 grãos de cada sub-parcela, sendo o valor posteriormente extrapolados para mil grãos. A população de plantas foi estimada através da contagem de plantas em seis metros lineares em cada sub-parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. As variáveis que apresentaram diferença significativa foram comparadas pelo teste LSD em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Statgraphics. Para determinação das curvas de diluição de nutrientes, foi efetuado o procedimento de regressão não-linear dos dados selecionados, gerando os coeficientes através do software estatístico Statgraphics. As curvas de diluição foram representadas graficamente através do programa Excel.

### 4.3 Resultados

#### 4.3.1 Experimento 1 – Cultura do milho

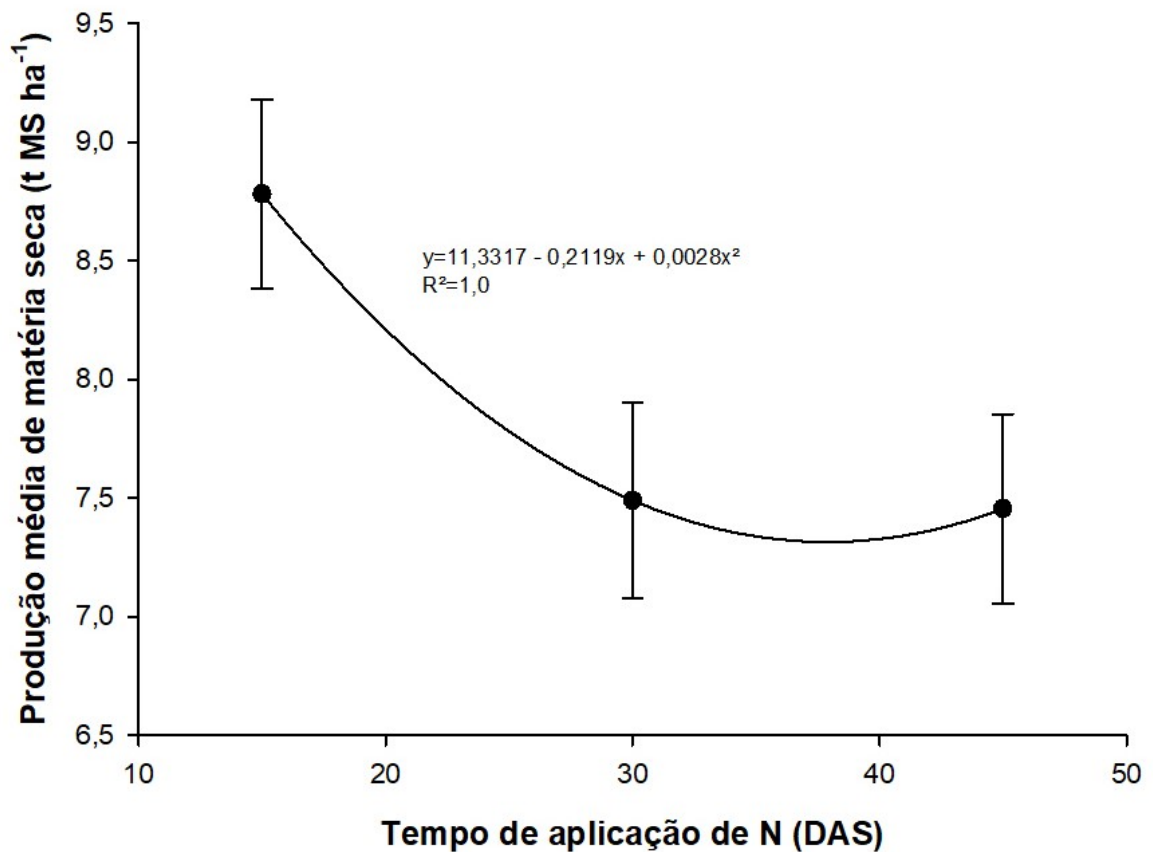
A análise de variância para a cultura do milho se encontra na Tabela 3. Para o fator cobertura de solo, houve efeito significativo somente para a variável INN nas plantas de milho. Para o tempo de aplicação das doses de N, houve efeito significativo para a maioria das variáveis, com exceção do IP. No caso do das coletas, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas. A interação entre cobertura do solo e tempo de aplicação e a interação entre cobertura do solo e coleta de plantas não foi significativa para nenhuma variável. Já a interação entre tempo de aplicação e coleta de plantas foi significativa para os teores de N, P e K nas plantas e para o INN e IP.

**Tabela 3 – Análise da variância do acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N e P em função da cobertura de solo, tempo de aplicação de nitrogênio e coleta de plantas. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Fatores	Produção de matéria seca	Acúmulo de matéria seca	N	P	K	INN	IP
Cobertura de solo (A)	0,2569	0,0182*	0,1827	0,1652	0,1261	0,0000*	0,6225
Tempo de aplicação (B)	0,0381*	0,2363	0,0000*	0,0013*	0,0013*	0,0000*	0,9782
Coletas (C)	0,0000*	-	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0001*	0,0003*
AxB	0,6008	0,0444*	0,8283	0,4996	0,3262	0,7878	0,3422
AxC	0,4301	-	0,8059	0,3043	0,7623	0,0399*	0,6512
BxC	0,5922	-	0,0000*	0,0003*	0,0052*	0,0000*	0,6783
AxBxC	0,8595	-	0,2248	0,5723	0,9290	0,3151	0,9823

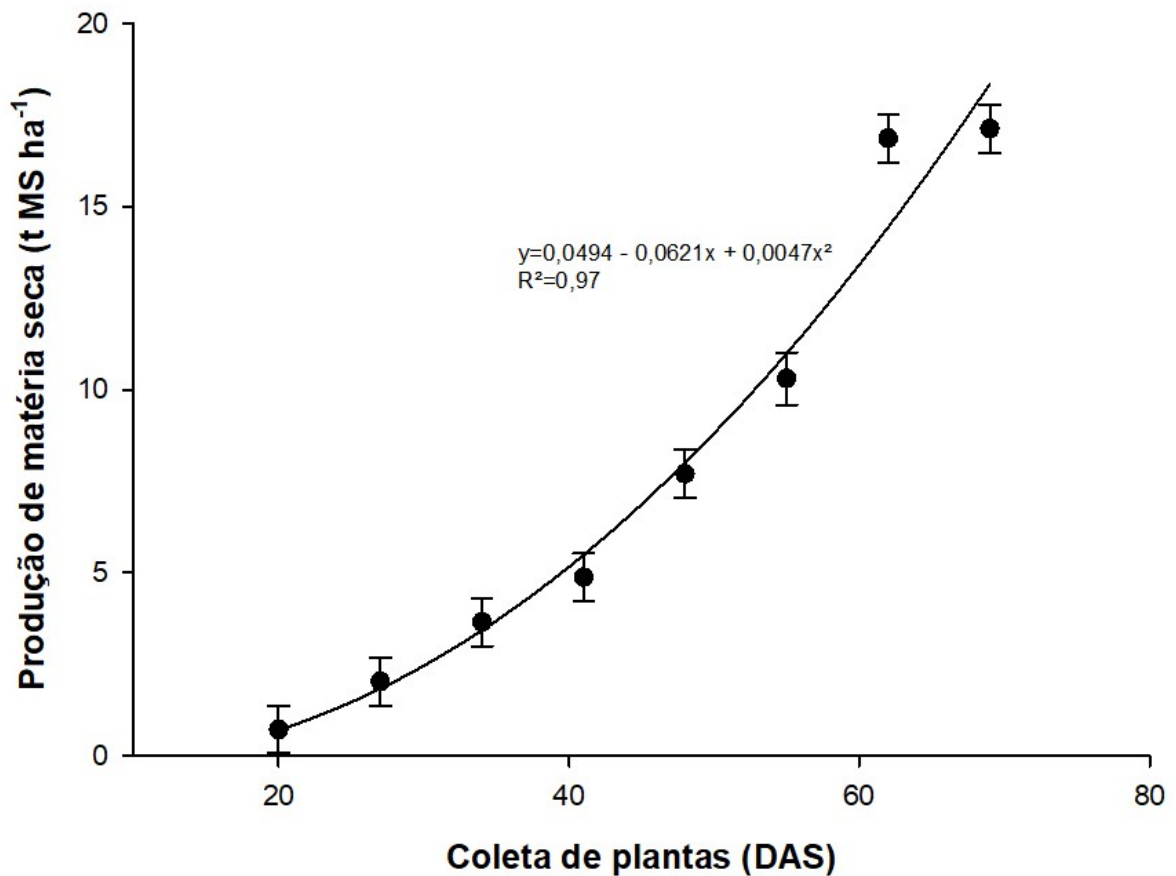
\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

A produção de matéria seca das plantas de milho foi influenciada pelo tempo de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> (P=0,0046; Figura 11). O maior valor médio de produção de matéria seca de milho foram encontrado para o tempo de aplicação de 15 DAS (8,8 t ha<sup>-1</sup>). As aplicações realizadas aos 30 e 45 DAS responderam com menores produções médias de matéria seca (7,47 t ha<sup>-1</sup>).



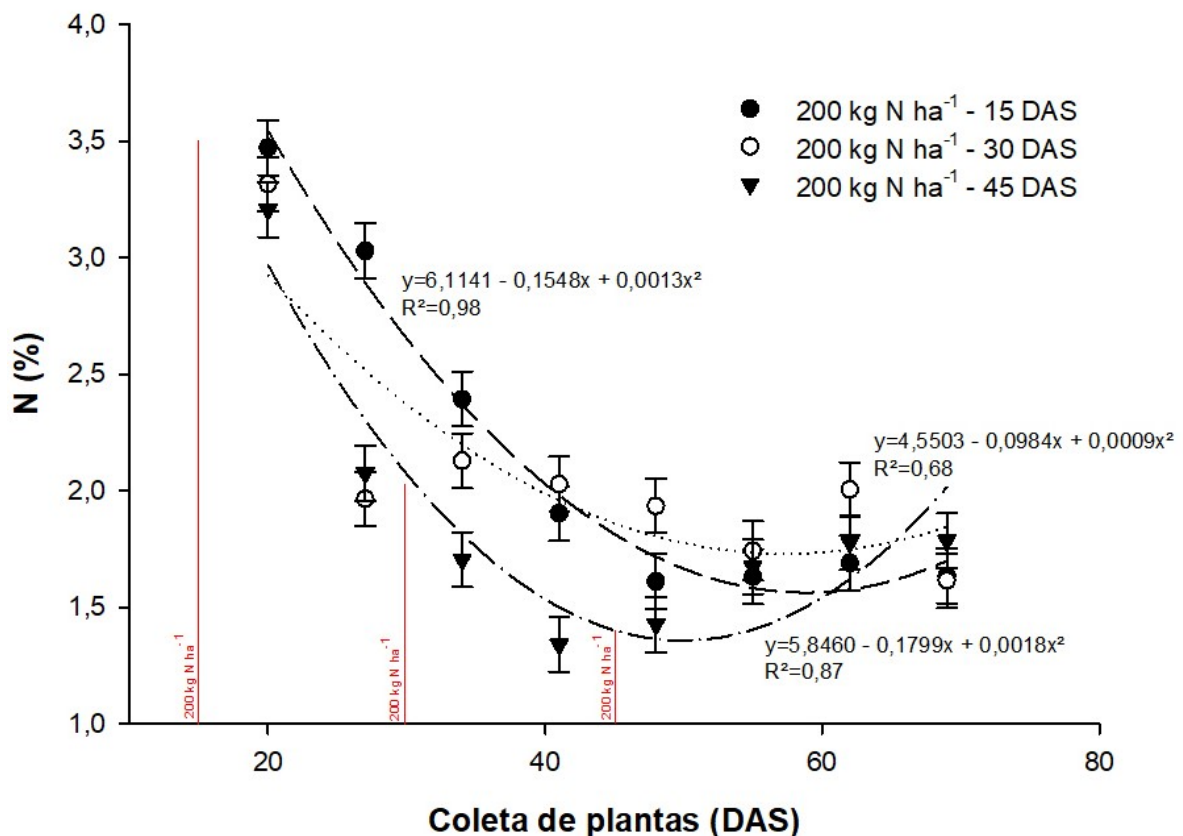
**Figura 11 – Produção média de matéria seca de plantas de milho submetidas à diferentes tempos de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

A produção de matéria seca do milho também foi influenciada somente pela coleta de plantas ( $P=0,0381$ ; Figura 12). Houve aumento do acúmulo conforme as coletas eram realizadas à campo, ou seja, conforme o desenvolvimento da planta. Os maiores valores de acúmulo de matéria seca foram encontrados ocorreram aos 62 e 69 DAS, com média de 17 t ha ha<sup>-1</sup>.



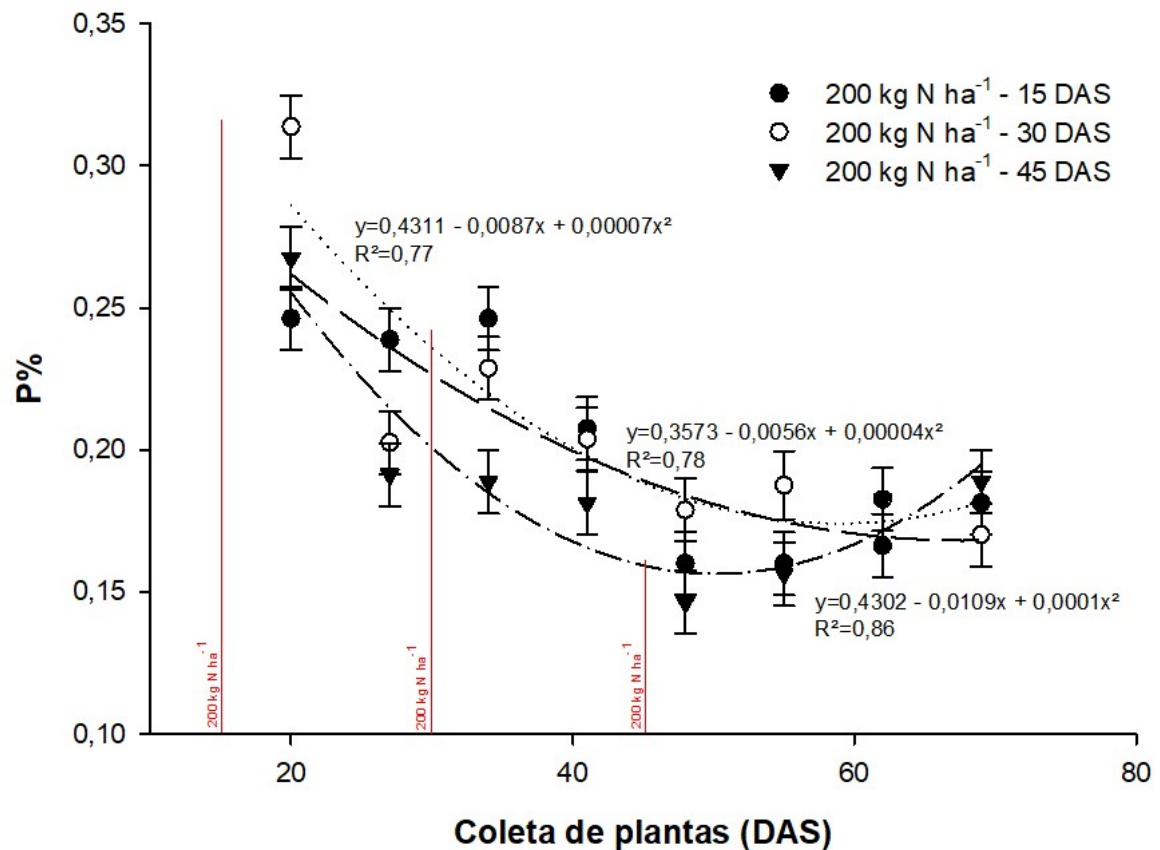
**Figura 12 – Matéria seca acumulada de plantas de milho submetidas à diferentes épocas de coleta em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

No caso do N (%), houve influência da interação entre os fatores de tempo de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> e coleta de plantas ( $P=0,0000$ ; Figura 13). Houve queda nos valores de N% para todos os tratamentos nas duas primeiras coletas (20 e 27 DAS). Para o tratamento com aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> aos 22 DAS a queda da N% ocorreu de forma menos intensa, mantendo-se acima dos outros tratamentos nas coletas realizadas aos 27 e 34 DAS (3,03 e 2,4%). Isso mostra a capacidade de manutenção da nutrição das plantas em níveis adequados de N através da antecipação da aplicação de N. No caso dos tratamentos 37 e 52 DAS as porcentagens de N apresentaram aumentos pontuais (2,12% e 1,67%) a partir das coletas de 34 e 55 DAS, respectivamente.



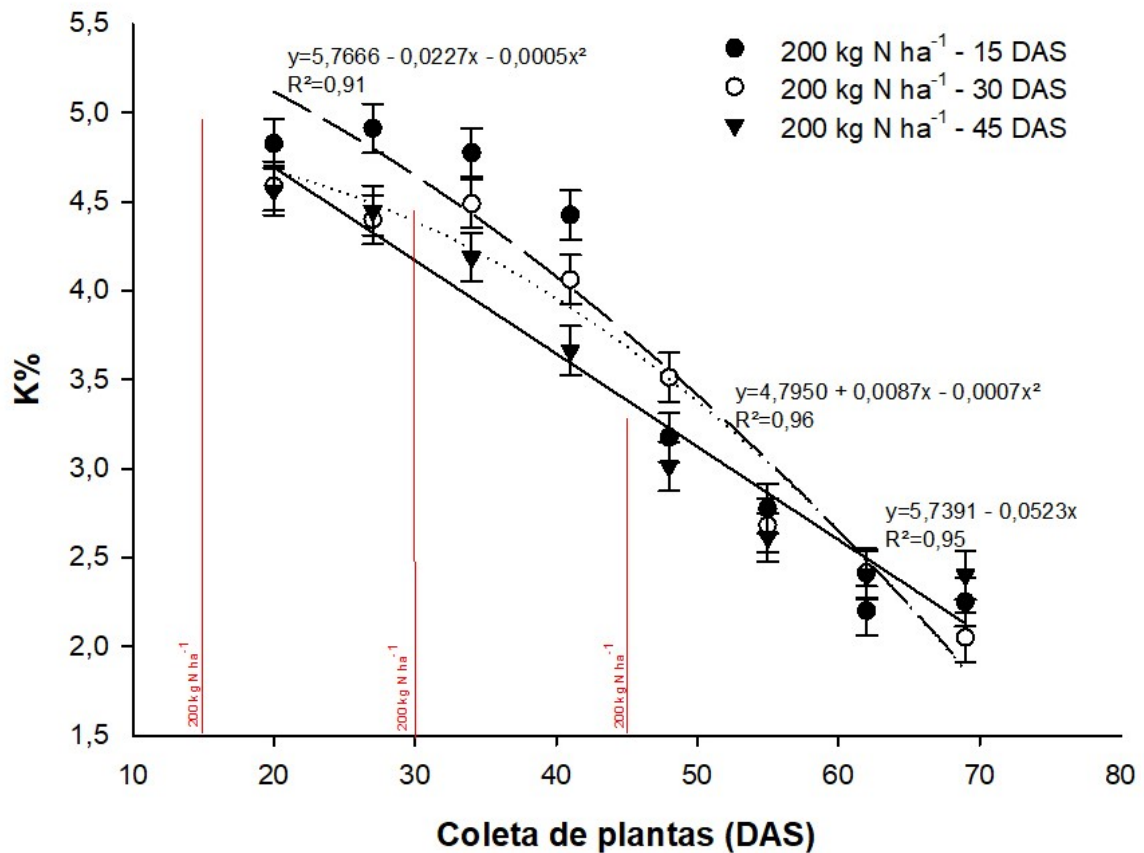
**Figura 13 – Teor de N no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O P% foi influenciado pela interação entre os fatores de tempo de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> e coleta de plantas ( $P=0,0003$ ; Figura 14). De forma geral, o P% apresentou queda nos valores ao decorrer das coletas. Para o tratamento com aplicação de N aos 15 DAS houve uma maior estabilidade inicial (20, 27 e 34 DAS) para a P%. Houve queda mais drástica para os outros tratamentos (principalmente dos 20 aos 27 DAS). Também houveram posteriores aumentos pontuais do P% para os tratamentos com aplicação de N aos 30 e 45 DAS (0,23% e 0,22%) nas coletas aos 34 e 62 DAS, respectivamente. O tratamento de 45 DAS também apresentou quedas progressivas, com aumentos a partir dos 55 DAS.



**Figura 14 – Teor de P no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

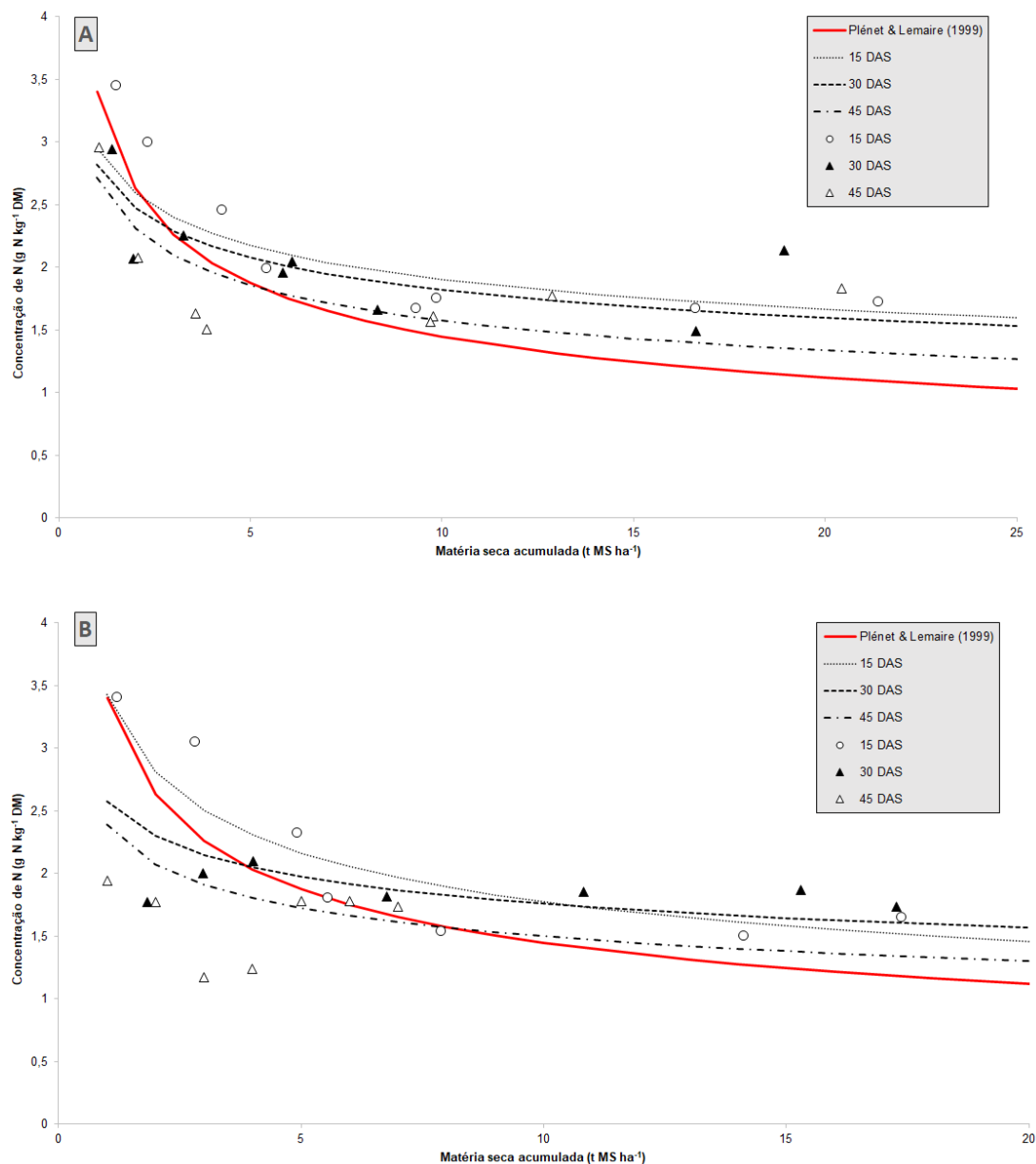
Para o K% também houve influência da interação entre os fatores entre os fatores de tempo de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> e coleta de plantas (P=0,0052; Figura 15). Em geral, para os três tempos de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> houve queda no K% com as coletas de plantas. O tratamento com aplicação de nitrogênio aos 15 DAS apresentou maior estabilidade inicial da K%, revelando uma média de 4,73% para as coletas de 20, 27, 34 e 41 DAS. O tratamento com a aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> aos 30 DAS mostrou um leve aumento nas K% a partir da coleta realizada aos 34 DAS até 48 DAS. No caso dos valores de K% para o tratamento com aplicação de N aos 45 DAS, os valores se mantiveram abaixo ou similares aos outros tratamentos.



**Figura 15 – Teor de K no tecido de plantas de milho em função de diferentes tempos de aplicação de nitrogênio em cobertura e coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Através da combinação entre o teor de N nos tecidos das plantas de milho e a sua produção de matéria seca, foi possível elaborar a curva de diluição de N. Para as curvas de diluição de N obtidas (Figura 16), houve queda dos teores de nitrogênio nos tecidos do milho conforme o acúmulo de matéria seca para todos os tratamentos de tempo de aplicação de N e cobertura do solo. Para a área com cobertura de solo antecedente (Figura 16A), observa-se que a maior quantidade de pontos acima da curva proposta por [Plénet e Lemaire \(1999\)](#) se refere ao tratamento com aplicação de  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  aos 15 DAS, ou seja, demonstrando que essas plantas apresentam nutrição adequada para N. Os tratamentos com a aplicação de N aos 30 e 45 DAS apresentaram uma maior quantidade de pontos abaixo da curva base no início do desenvolvimento das plantas, demonstrando níveis nutricionais abaixo do ideal. Porém, observa-se que para os tratamentos de aplicação de N aos 30 e 45 DAS houve possibilidade de recuperação dos níveis.



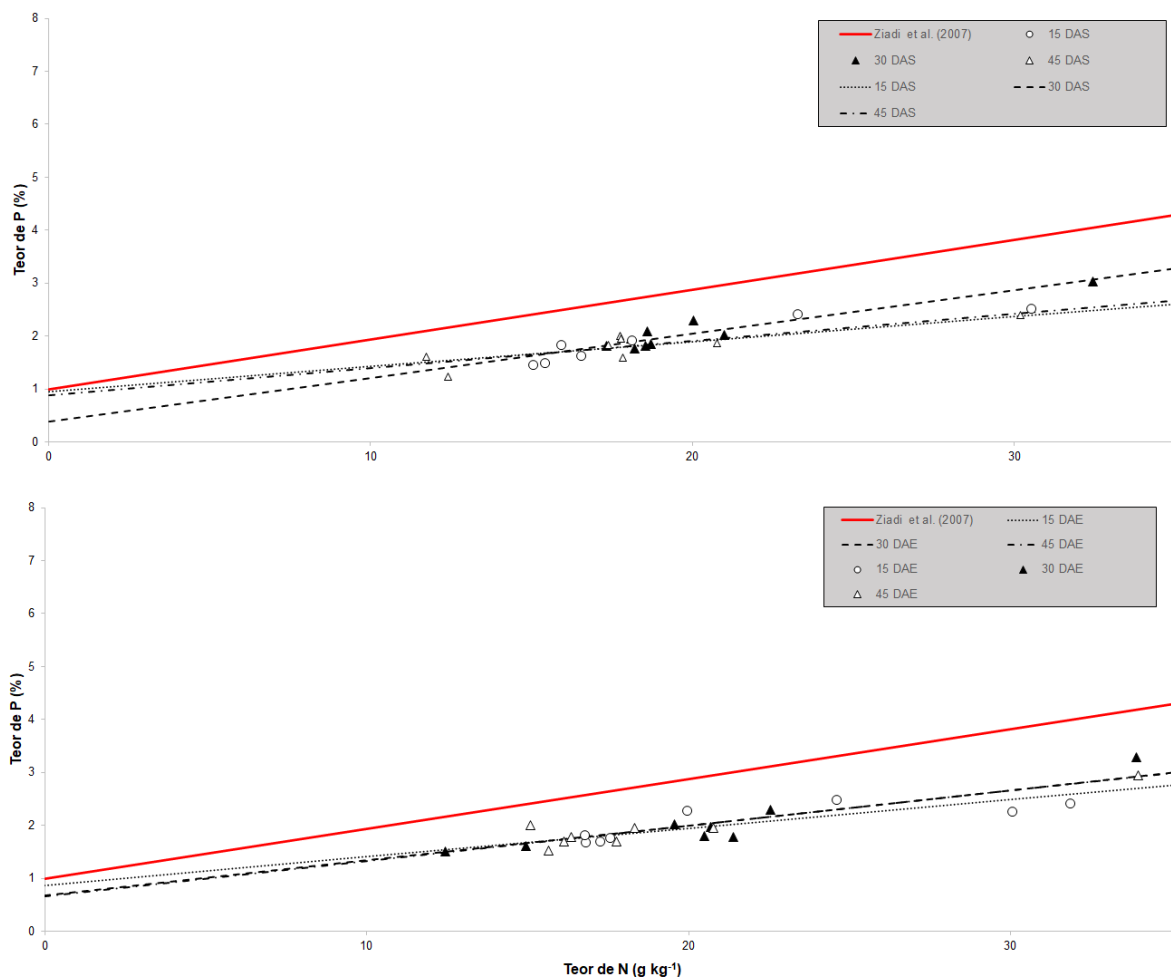


**Figura 16 – Teor de N da parte aérea do milho em relação a matéria seca acumulada em função dos tratamentos de (A) com cobertura de solo e (B) em pousio e tempo de aplicação de nitrogênio em cobertura (15, 30 e 45 dias após a semeadura), comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Para a área de Pousio (Figura 16B) também foi observada que a maior quantidade de pontos acima da curva base ocorreu para o tratamento com a aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> aos 22 DAS, mais uma vez indicando um melhor nível nutricional. Para as aplicações de N realizadas aos 37 e 52 DAS houveram maiores quantidades de pontos abaixo da curva no início de desenvolvimento das plantas, principalmente para a aplicação mais tardia. Percebe-se que foi possível a recuperação do nível nutricional

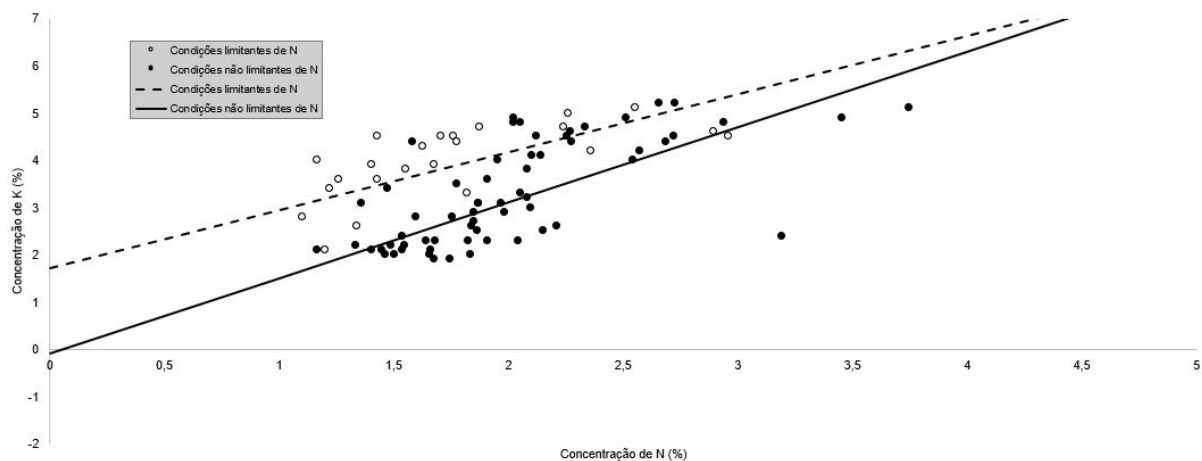
de N para os tratamentos com a aplicação de N aos 37 e 52 DAS, através da ocorrência de pontos acima da curva base.

Ao se considerar os valores obtidos de N% e P% é possível avaliar a relação existentes entre os dois nutrientes. Tal relação já foi descrita por [Ziadi \*et al.\* \(2007\)](#) para plantas de milho. No presente trabalho, a relação entre N e P (Figura 17), é possível identificar que independente do tratamento de cobertura de solo ou tempo de aplicação de N há a tendência de aumento da quantidade de P nos tecidos das plantas acompanhado de aumento no teor de N. Ainda, todas as retas se apresentaram abaixo da reta base, indicando que o nível crítico de P não foi atendido para determinada quantidade de N nos tecidos.



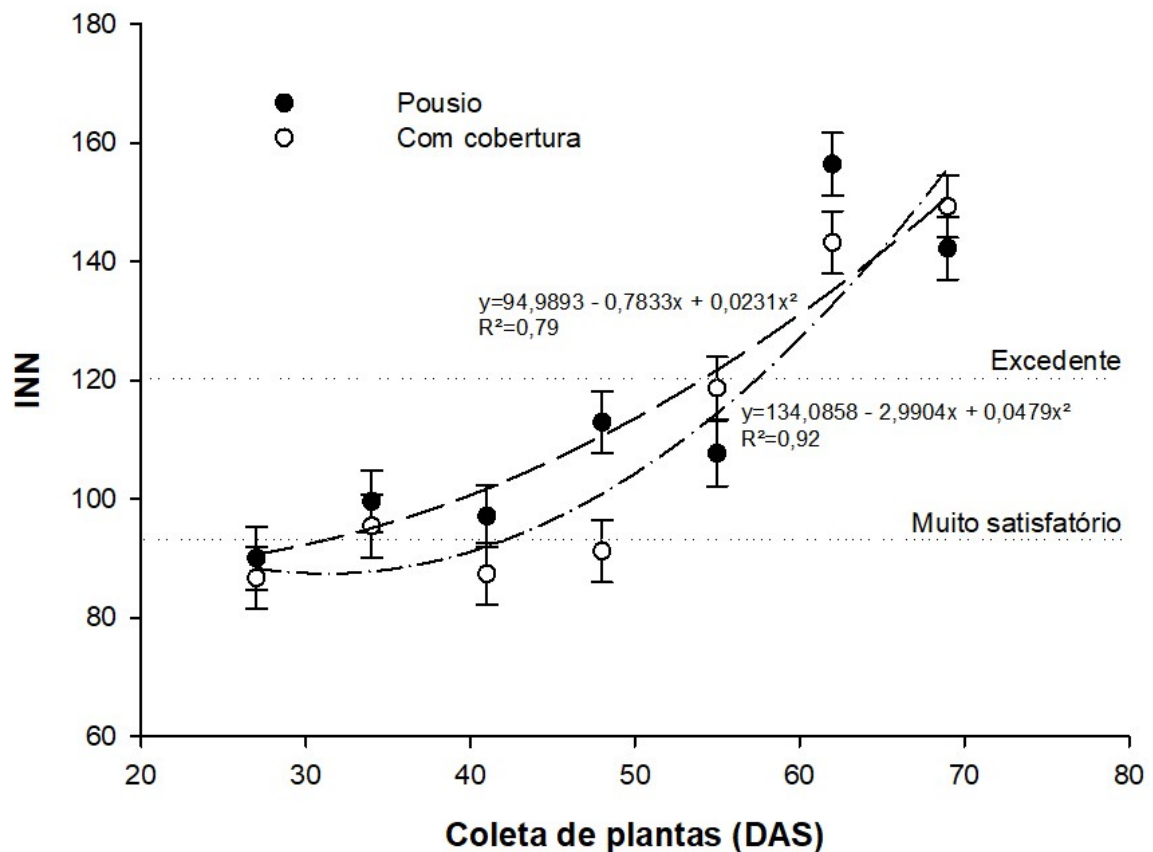
**Figura 17 – Teor de P da parte aérea do milheto em relação ao teor de N em função dos tratamentos de (A) com cobertura de solo e (B) em pousio e tempo de aplicação de nitrogênio em cobertura (15, 30 e 45 dias após a emergência), comparadas com relação entre N e P para plantas de milho proposta por [Ziadi \*et al.\* \(2007\)](#). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Com os valores obtidos de N% e K% nos tecidos das plantas de milho foi possível produzir as retas de relação entre N e K (Figura 18). Verifica-se que para ambas situações de limitação de N existe uma relação positiva entre os nutrientes N e K. Assim, com a diminuição de N também há diminuição nos teores de K. No caso das condições de limitação, observa-se que condição limitantes de nitrogênio proporcionam valores superiores de K% no tecidos das plantas. Ainda, salienta-se nesse caso que ainda não existem retas bases para configuração do estado nutricional das plantas de milho.



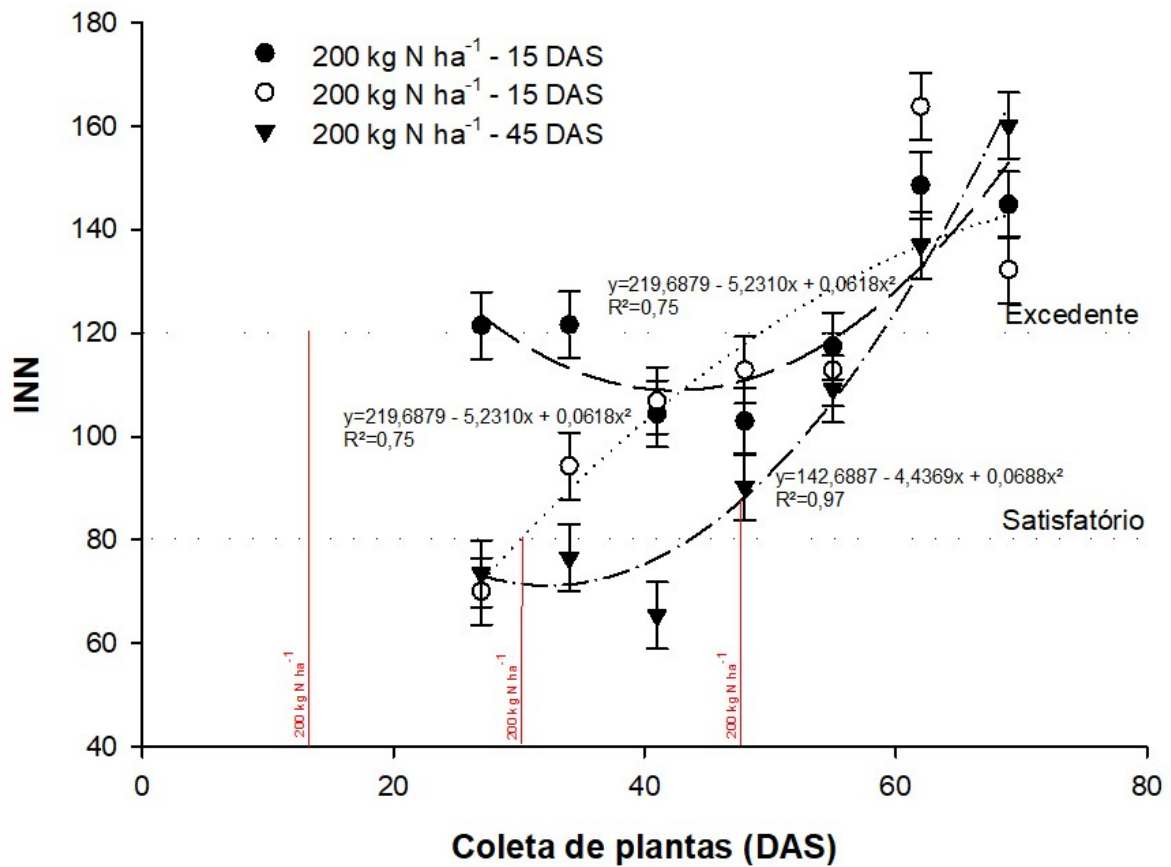
**Figura 18 – Relação entre os teores de N e K no tecidos de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O INN foi influenciado pela interação entre os fatores cobertura de solo e coleta de plantas ( $P=0,0399$ ; Figura 19). Independente da utilização de cobertura do solo ou de pousio, as plantas de milho apresentaram aumento do INN ao decorrer das coletas de planta. As áreas com pousio apresentaram valores superiores apenas para as coletas realizadas aos 48 e 62 DAS (112,9 e 156,4, respectivamente). Destaca-se que, independente do manejo e da coleta de plantas, todos os valores indicam níveis satisfatórios de N para o milho.



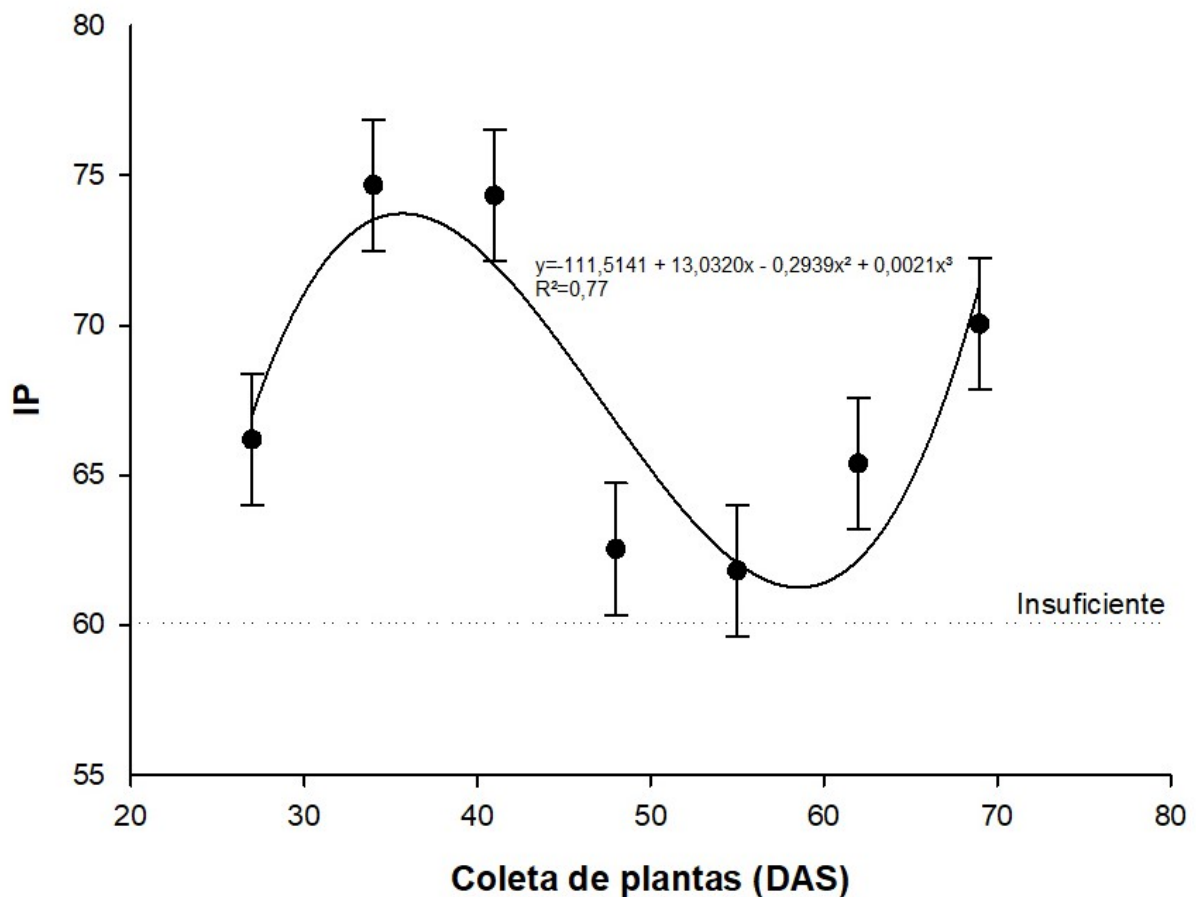
**Figura 19 – Índice nutricional nitrogenado de plantas de milho submetidas à diferentes coberturas de solo (com cobertura e pousio) e datas de coleta em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O INN também foi influenciado pela interação entre os fatores de tempo de aplicação de N e pelas coletas dias após a semeadura ( $P=0,000$ ; Figura 20). De forma geral, o INN apresentou aumentos ao decorrer do aumento da DAS, ao realizar um comparativo entre início e fim do ciclo. O índice foi superior para o tratamento 15 DAS nas coletas realizadas aos 27 e 34 DAS (121,48 e 121,63), mantendo-se em todas as coletas com valores acima de níveis satisfatórios (acima de 80). Os tratamentos de 30 e 45 apresentaram índices iniciais mais baixos (coletas aos 27 e 34 DAS), situando-se como níveis insuficientes. Houve recuperação do INN para níveis satisfatórios nesses casos, ocorrendo primeiramente para o tratamento com aplicação de N aos 30 DAS, seguido da aplicação aos 45 DAS, mantendo-se em níveis adequados até a última coleta.



**Figura 20 – Índice nutricional nitrogenado de plantas de milho submetidas à diferentes tempos de aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> e coleta de plantas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O IP apresentou influência somente do fator de coleta de plantas ( $P=0,0003$ ; Figura 21). O IP se mostrou em situação insatisfatória durante todas as coletas, mesmo apresentando aumentos significativos aos 34 e 41 DAS (76,22 e 76,16). Ao final do ciclo também houve aumentos (62 e 69 DAS), porém não sendo suficientes para atingir níveis satisfatórios.



**Figura 21 – Índice de fósforo em função de coletas em dias após a semeadura e tempo de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura e índice de potássio em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

#### 4.3.2 Experimento 2 – Cultura do milho

Os valores da análise da variância para os dados estudados nessa seção estão dispostos na Tabela 4. Para o fator aplicação de N em pré-semeadura, houve efeito significativo apenas para as variáveis acúmulo de matéria seca, teor de N, INN e IP. Já para a aplicação de N em cobertura, houve efeito significativo somente para o acúmulo de matéria seca, teor de N e P nas plantas e INN. Para a coleta de plantas, o efeito foi significativo para o acúmulo de matéria seca, teor de N, P e K, INN e IP. Houve interação significativa somente entre os fatores N cobertura e coletas para o teor de P nas plantas de milho.

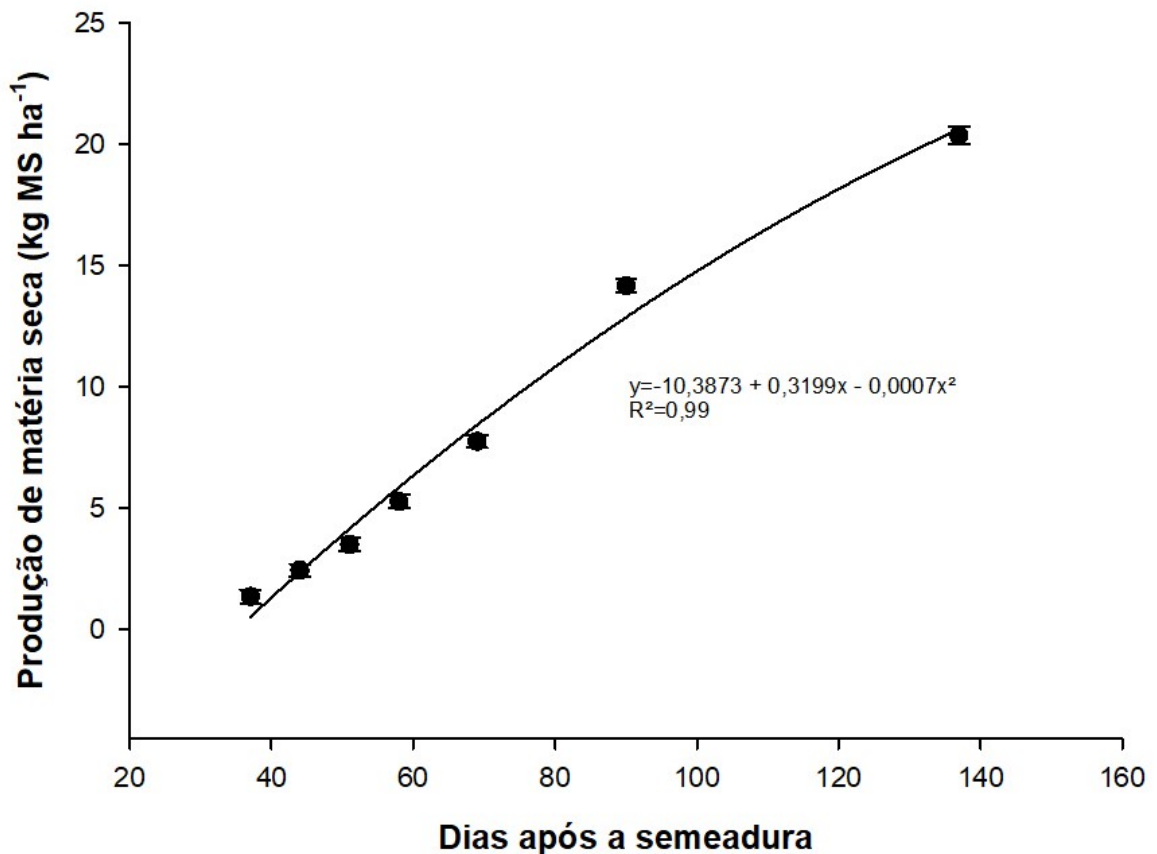
Não houve influência das aplicações de nitrogênio em pré-semeadura e na cobertura das plantas de milho para os componentes de rendimento. A média obtida para a produtividade de grãos de milho foi de 12.123 kg ha<sup>-1</sup>. Já para o peso de mil grãos a média foi de 389 g e a média para o número de fileiras por espiga foi de 15,5.

**Tabela 4 – Análise da variância do acúmulo de matéria seca de plantas de milho, teores de N, P e K e índices nutricionais de N, P e K em função da aplicação de doses de N em pré-semeadura, doses de N em cobertura e tempo de coleta. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Fatores	Produtividade de grãos	Peso de mil grãos	Fileiras por espiga	Acúmulo de matéria seca	N	P	K	INN	IP
N Pré-semeadura (A)	0,2501	0,1902	0,6704	0,0013*	0,0000*	0,5054	0,9600	0,0000*	0,0000*
N Cobertura (B)	0,3122	0,2318	0,2989	0,0431*	0,0000*	0,0030*	0,6997	0,0001*	0,1057
Coletas (C)	-	-	-	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0001*	0,5536
AxB	0,8858	0,4177	0,9425	0,8512	0,1678	0,1238	0,1762	0,4460	0,6906
AxC	-	-	-	0,1130	0,7439	0,2219	0,9284	0,5640	0,2489
BxC	-	-	-	0,1756	0,1564	0,0010*	0,8188	0,4333	0,1049
AxBxC	-	-	-	0,8605	0,6447	0,3678	0,9745	0,7528	0,8656

\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

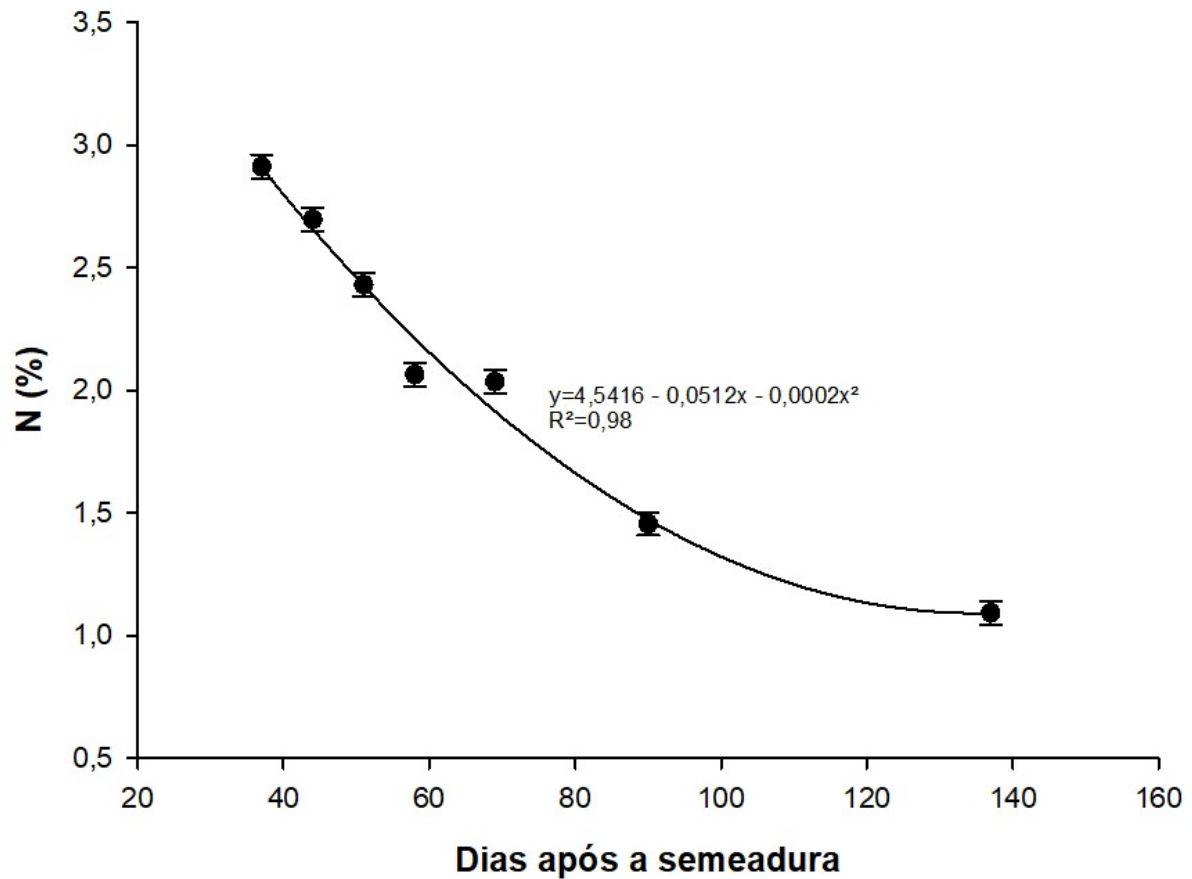
O acúmulo de matéria seca das plantas de milho foi influenciada pelos fatores dose de N em pré-semeadura ( $P=0,0013$ ), coletas em dias após a semeadura ( $P=0,000$ ; Figura 22) e doses de N em cobertura ( $P=0,0431$ ), todos de forma individual. Para a produção acumulada de matéria seca, houve aumento dos valores com o aumento dos DAS, chegando à produção de  $20,4 \text{ t MS ha}^{-1}$ . As áreas com a aplicação de  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  de forma antecipada ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  PS) produziram maior quantidade média de matéria seca ( $8,19 \text{ t MS ha}^{-1}$ ) em relação ao tratamento sem aplicação em pré semeadura ( $7,13 \text{ t MS ha}^{-1}$ ). As áreas que receberam  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  sobre a cultura do milho ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  Co) responderam em maiores quantidades de matéria seca ( $8,05 \text{ t MS ha}^{-1}$ ) em relação à área sem aplicação em cobertura ( $7,6 \text{ t MS ha}^{-1}$ ).



**Figura 22 – Matéria seca acumulada de plantas de milho em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

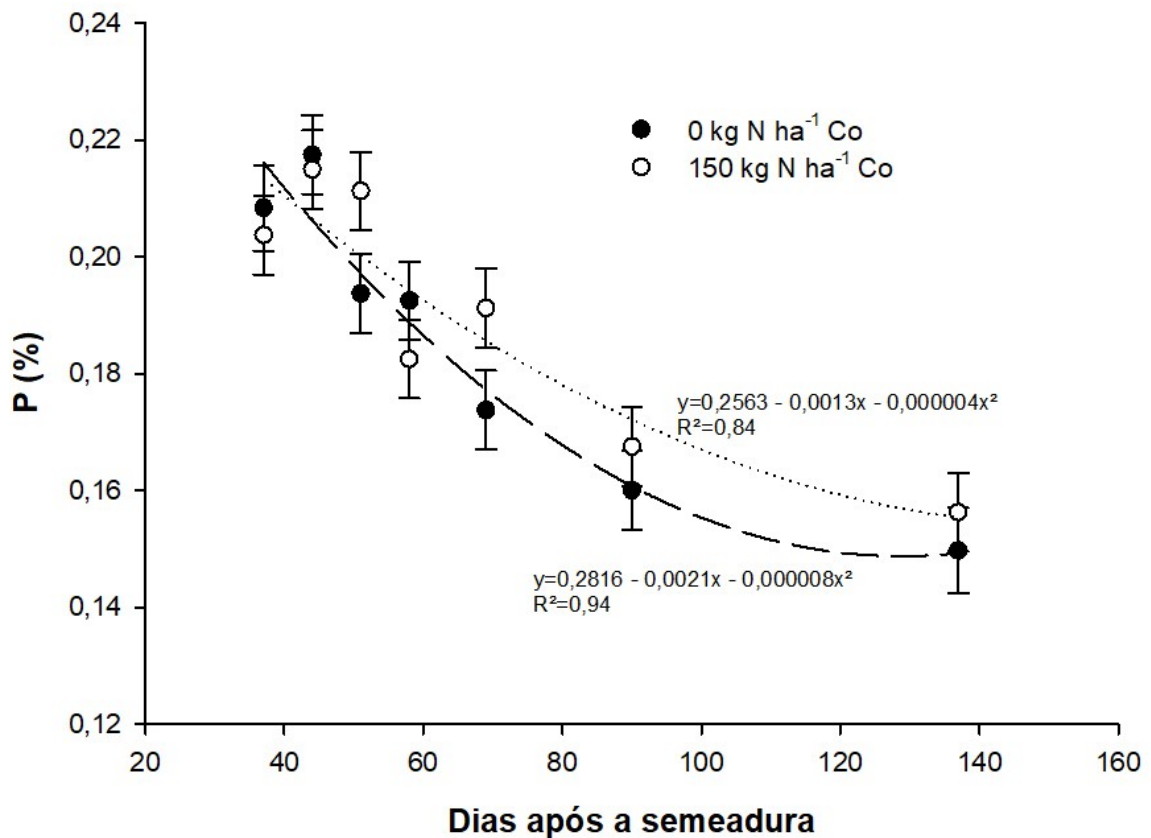
O teor de N nas plantas de milho foi influenciado pelo fator coleta de plantas ( $P=0,000$ ; Figura 23). Para ambos nutrientes houve queda da concentração com o aumento da DAS, ou seja, ao decorrer do desenvolvimento da cultura. A N% também sofreu influências da aplicação nitrogenada em pré-semeadura ( $P=0,000$ ), com maior valor para o tratamento  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  em pré-semeadura (2,1%). Os valores de N também foram influenciados pelo tratamento com aplicação em cobertura ( $P=0,000$ ), onde os valores foram superiores para o tratamento com aplicação de  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  em cobertura (2,2%).





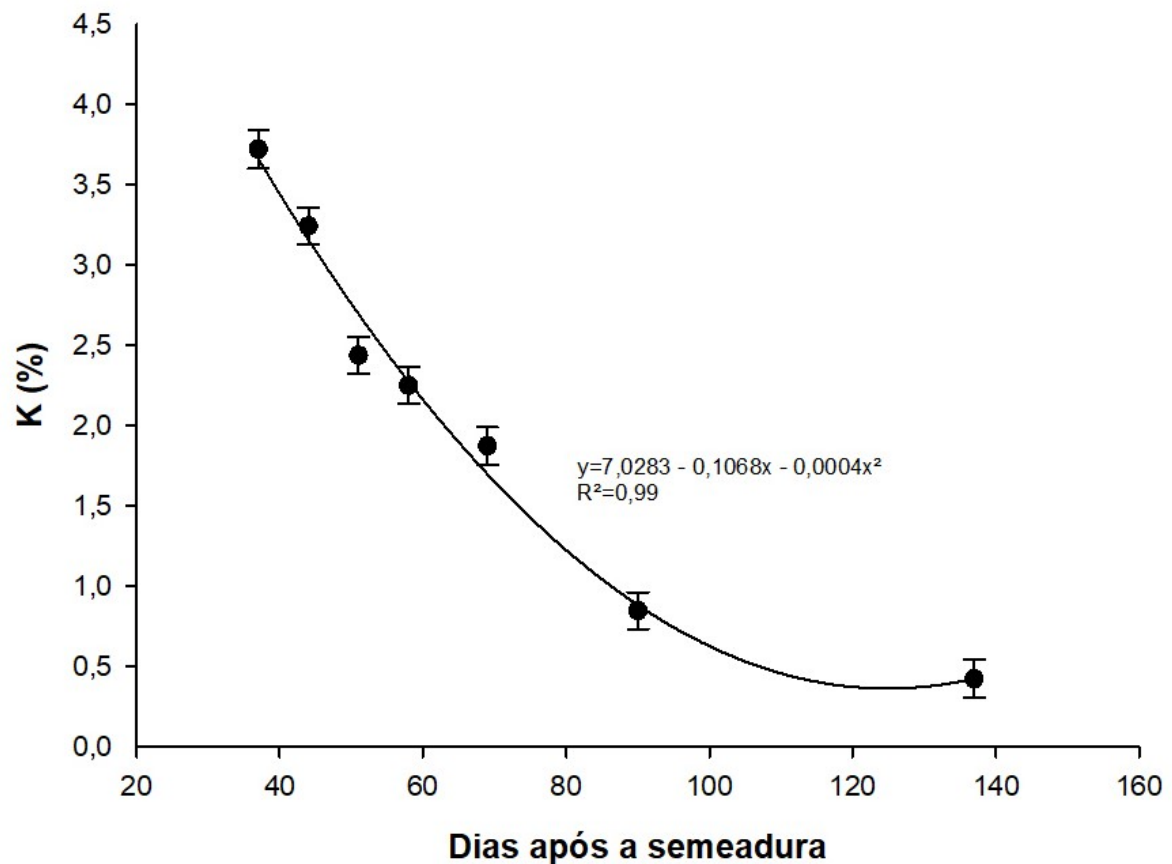
**Figura 23 – Teor de N (%) em função de coletas em dias após a semeadura e teor de P em função de doses de N aplicados em pré-semeadura e de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Para o teor de P houve influência da interação entre os fatores aplicação de N em cobertura e dias após a semeadura ( $P=0,0010$ ; Figura 24). De forma geral, a P% apresentou decréscimo do início ao final do cultivo (aumento da DAS) para ambos tratamentos de pré-semeadura. O tratamento com aplicação  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  em cobertura apresentou teores superiores aos 51 e 58 DAS em relação ao  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  em cobertura.



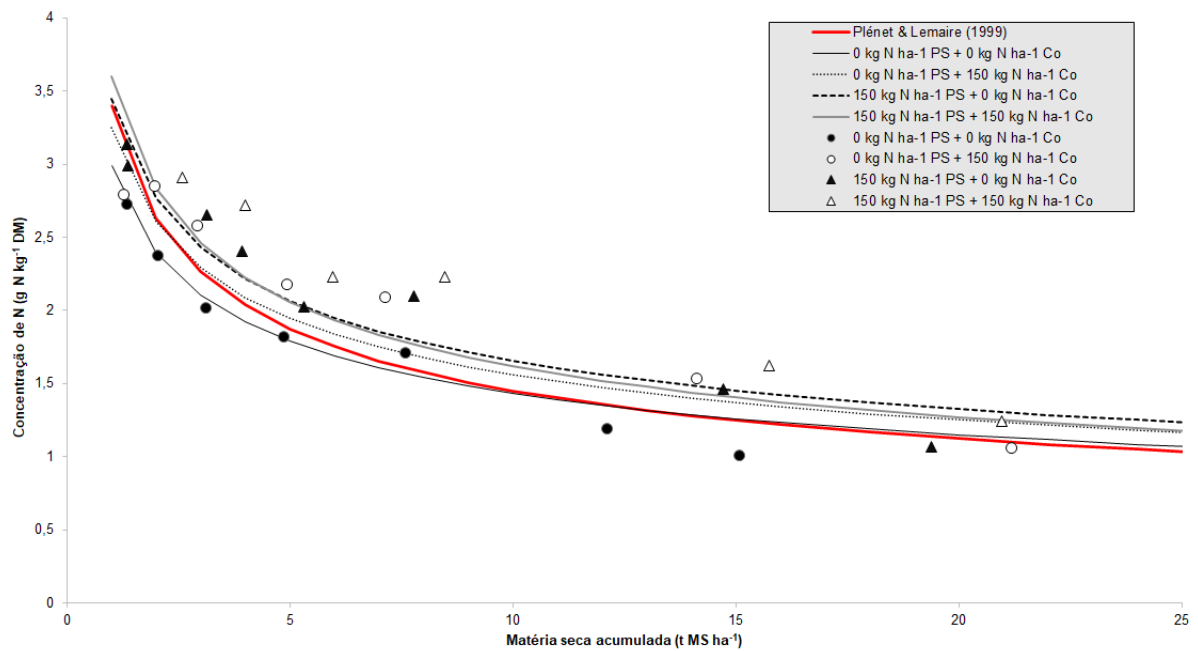
**Figura 24 – Teor de P (%) de plantas de milho em função de doses de N aplicadas em pré-semeadura e de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

O teor de K nas plantas de milho foi influenciado pelo fator de dias após a semeadura ( $P=0,000$ ; Figura 25). Para ambos nutrientes houve queda da concentração com o aumento do ciclo da cultura, ou seja, ao decorrer do desenvolvimento da cultura. A concentração de nitrogênio também sofreu influências da aplicação em pré-semeadura ( $P=0,000$ ), com maior valor para o tratamento 150 kg N ha<sup>-1</sup> PS (2,1%). Os valores de N também foram influenciados pelo tratamento com aplicação em cobertura ( $P=0,000$ ), onde os valores foram superiores para o tratamento 150 kg N ha<sup>-1</sup> Co (2,2%).



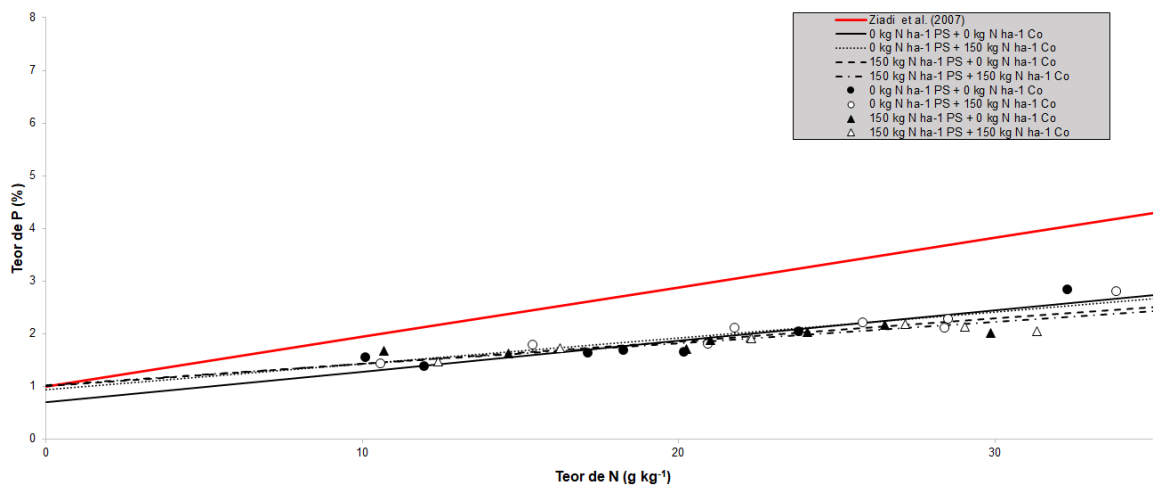
**Figura 25 – Teor de K (%) em plantas de milho em função de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Considerando os valores obtidos para porcentagem de N nos tecidos das plantas de milho e a quantidade de matéria seca acumulada durante as avaliações foi possível elaborar as curvas de diluição de N. Todas as curvas de diluição de N apresentaram comportamentos de queda nos teores de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) com o aumento na quantidade de matéria seca das plantas de milho (Figura 26). Os tratamentos que receberam N de forma antecipada ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  PS) foram os que apresentaram nutrição adequada em todo o ciclo das plantas, ou seja, sem restrições de N para a produção. Para o tratamento sem aplicação antecipada ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  PS) a condição de boa nutrição foi obtida somente após determinado tempo, ocorrendo primeiramente para o tratamento que recebeu  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  em cobertura. O tratamento que não recebeu adubação nitrogenada ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  PS +  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  Co) representou a pior situação em relação à nutrição de N, mostrando a grande maioria dos pontos abaixo da curva proposta por Plénet e Lemaire (1999).



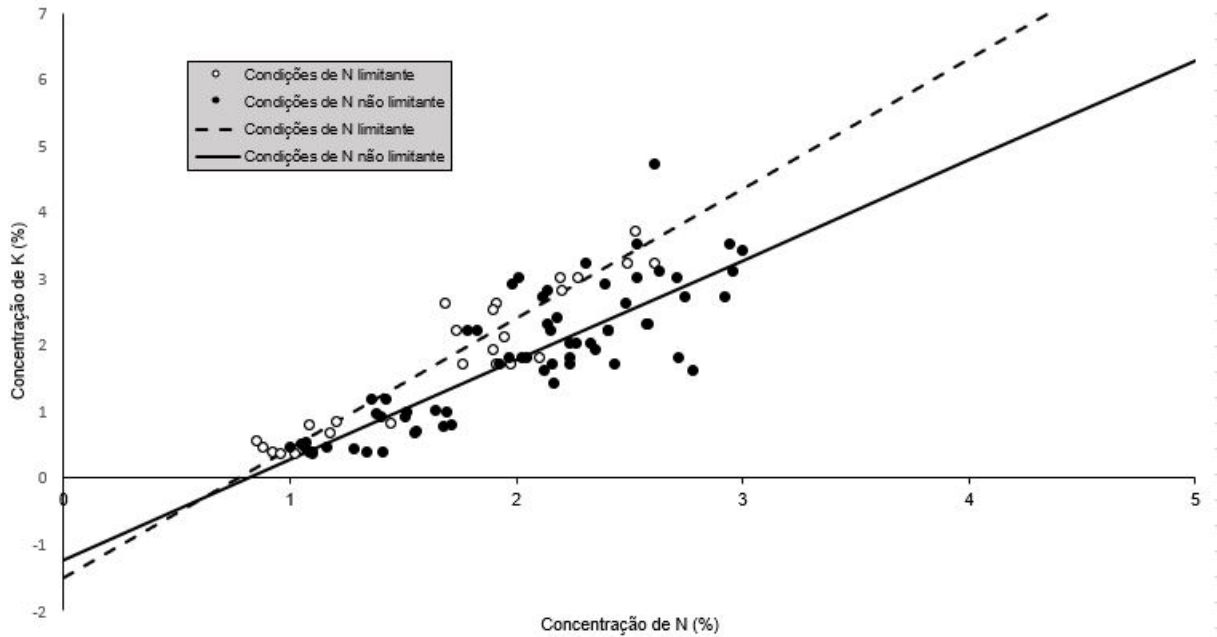
**Figura 26 – Teor de N da parte aérea do milho em função da matéria seca acumulada para os tratamentos com doses nitrogênio (0 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>) aplicadas em pré-semeadura e na cobertura, comparadas com a curva de diluição de N para plantas C4, proposta por Plénet e Lemaire (1999). UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Com os valores obtidos de N e P no tecido das plantas de milho foi possível obter a relação entre os dois nutrientes, como proposto por (ZIADI *et al.*, 2007). A relação entre P e N obtida para os tratamentos demonstraram que maiores níveis de N levam a maiores absorções de P (Figura 27). Todas as retas apresentaram um comportamento similar em relação à sua inclinação. Além disso, todas se apresentaram abaixo da reta base, indicando restrições em relação à quantidade de P para os teores de N.



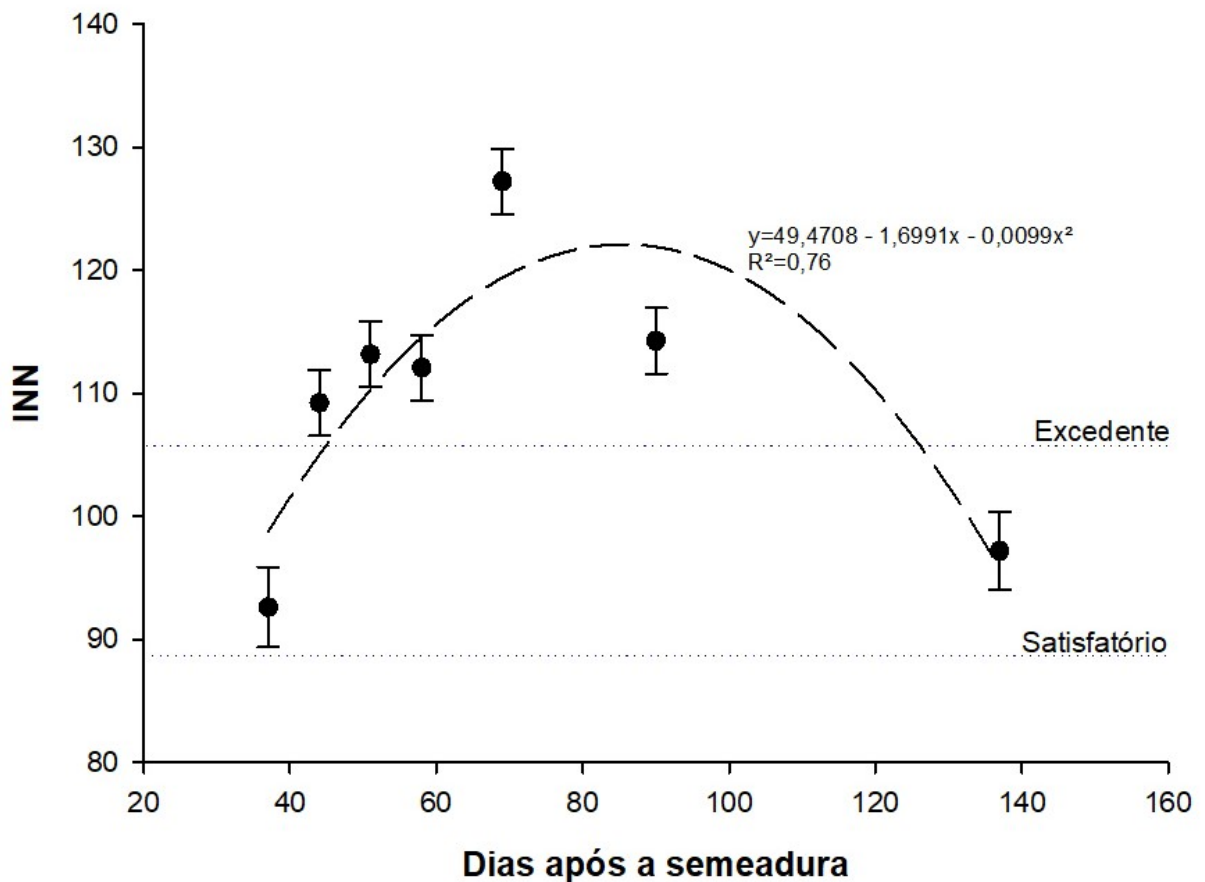
**Figura 27 – Teor de P da parte aérea do milho em função do teor de N para os tratamentos com doses nitrogênio (0 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>) aplicadas em pré-semeadura e na cobertura, comparadas com a reta para plantas de milho proposta por Ziadi *et al.* (2007). UTFPR, Pato Branco, 2022. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Através das concentrações obtidas de N e K nos tecidos das plantas de milho foi possível obter a relação entre os dois nutrientes (Figura 28). Observa-se que existe uma relação positiva entre os nutrientes N e K nos tecidos das plantas de milho, visto que com a queda dos teores de N também há diminuição dos teores de K. Em especial para os níveis de limitação de N, as plantas que apresentaram limitação de nitrogênio durante seu desenvolvimento mostraram maiores níveis de K em seus tecidos.



**Figura 28 – Relação entre os teores de N e K nos tecidos de plantas de milho, determinada em condições limitantes e não limitantes de N. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

O INN das plantas de milho foi influenciado de forma simples pelas doses de N aplicadas em pré-semeadura ( $P=0,000$ ), dose de N em cobertura ( $P=0,000$ ) e pelas coletas em dias após a semeadura ( $P=0,000$ ; Figura 29). A aplicação de  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  em pré-semeadura mostrou melhor índice (119) em comparação à não aplicação de N antecipada ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  PS) (100). Em ambos casos, os valores foram classificados acima de níveis satisfatórios para a nutrição nitrogenada. Já para os tratamentos com aplicações de N em cobertura, o tratamento com maior aplicação de N ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  Co) também apresentou maiores índices (117) em comparação ao local com dose de  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$  Co (101). Para esses casos, os índices também se apresentaram acima do considerado como satisfatório para a cultura (acima de 80). Em relação aos dias após a semeadura, houve aumento do índice até os 69 DAS (127,2) e posterior queda até a última coleta. Em todas as épocas de coleta, os valores se apresentaram acima do mínimo necessário (índices satisfatórios).



**Figura 29 – Índice nutricional nitrogenado (INN) em função da época de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

O IP sofreu influência somente do fator coleta de plantas ( $P=0,000$ ; Figura 30). Nesse caso, houve aumento no índice com o aumento do DAS, atingindo o maior valor aos 137 DAS (76,18). Todos os valores encontrados para IP se encontraram em níveis insatisfatórios, ou seja, não apresentando nutrição adequada de P para as plantas de milho.

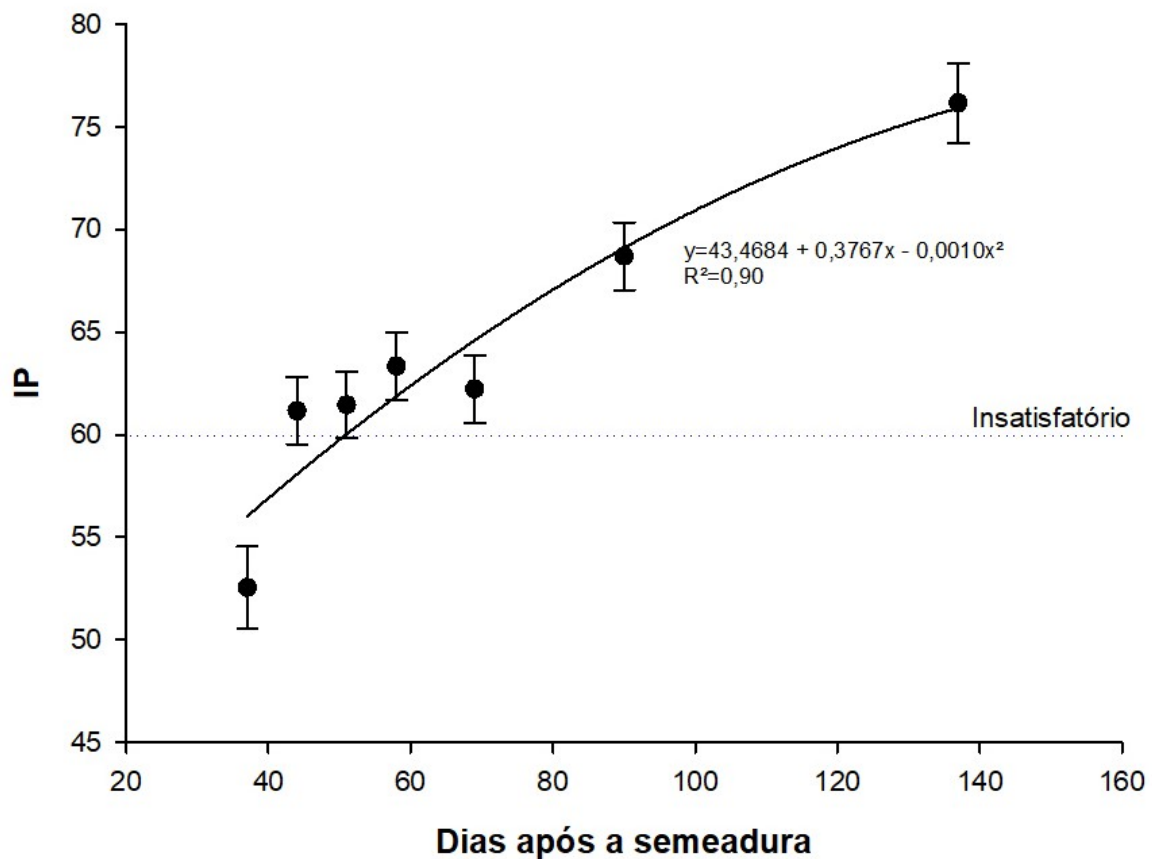


Figura 30 – Índice de fósforo (IP) em função da época de coletas em dias após a semeadura. UTFPR, Pato Branco, 2022.

#### 4.4 Discussão

##### 4.4.1 Experimento 1 – Cultura do milho

A produção de matéria seca das plantas de milho foram afetadas pela quantidade de nitrogênio e pela época em que as mesmas foram aplicadas. O nitrogênio tem papel imprescindível sobre a produção de biomassa e de grãos, por fazer parte da composição da molécula de clorofila, possibilitar maior ciclo vegetativo e desenvolvimento de raízes (SHEORAN; JOSHI *et al.*, 2016). Heringer e Moojen (2002) afirmam que existe uma resposta quadrática para a produção de matéria seca com a aplicação de diferentes doses de N, com possibilidade de ganhos com a utilização de até 464 kg N ha<sup>-1</sup>. Melo, Fernandes e Galvão (2015) também encontraram resposta quadrática para a aplicação de N sobre a produção de matéria seca, obtendo valores máximos com 158 kg N ha<sup>-1</sup>. Esses resultados corroboram com o encontrado, em que os tratamentos com aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> apresentaram as maiores produções de matéria seca.



Mesmo que haja resposta positiva para o aumento de doses de N para o aumento de biomassa, a própria época de aplicação também deve ser considerada. Dentro dos sistemas de produção existe a grande necessidade de fazer com que a época de maior absorção de nutrientes coincida com épocas de grande disponibilidade no solo. [Liao, Fillery e Palta \(2004\)](#) relataram a possibilidade de má nutrição para N em plantas que foram adubadas com o nutriente durante a semeadura, provocado pela incompatibilidade entre disponibilização e a absorção. A absorção de nitrogênio para o milho possivelmente apresenta um comportamento similar ao existente para plantas de milho. Nesse caso, as absorções iniciais são mais baixas (mas ainda sendo necessárias), aumentado conforme o desenvolvimento da planta ([PINHO \*et al.\*, 2009b](#); [SILVA \*et al.\*, 2016](#)). Considerando a necessidade da cultura, é possível que o tratamento com a aplicação de N aos 15 DAS tenha apresentado a maior resposta em produção, considerando que foi o primeiro tratamento que recebeu N. Desse modo, percebe-se que aplicações antecipadas (15 DAS) são capazes de fornecer boas condições nutricionais para uma boa produtividade das plantas.

A cobertura do solo formada no cultivo anterior também afetou os resultados obtidos no trabalho. A palhada sobre o solo tem efeito direto sobre o sincronismo entre o N disponibilizado e o absorvido. Aspectos como a qualidade ([ACOSTA \*et al.\*, 2014](#)) do material, relação C/N ([CRUSCIOL \*et al.\*, 2008](#)), manejo da biomassa/pastagem ([MATTEI \*et al.\*, 2018](#)) e disponibilidade de nitrogênio ([PONTES \*et al.\*, 2018](#)) para a cultura são aspectos que afetam a decomposição do material e a liberação de nutrientes. Para o presente trabalho, as coberturas de solo utilizadas nos tratamentos possivelmente apresentavam alta relação C/N. Segundo [Canalli \*et al.\* \(2020\)](#) plantas gramíneas apresentam relação C/N superior (valores superiores a 25), o que leva a maiores dificuldades para a decomposição do material por conta da composição química do material. Considerando-se a área de pousio, a mesma situação deve ter ocorrido, visto que grande parte do material sobre o solo foi composto por azevém de ressemeadura natural.

Com a adição de tais materiais de decomposição mais lenta sobre o solo, possivelmente tenham ocorrido problemas de imobilização microbológica de nutrientes. A falta de adubação sobre a cultura de inverno e a utilização de pousio associadas a produção de material de alta C/N levou a condições favoráveis ao processo, necessitando utilizar dos nutrientes existentes na solução do solo, tornando-os indisponíveis para a cultura do milho ([TEIXEIRA \*et al.\*, 2009](#)). Essa situação possivelmente tenha ocorrido em maior intensidade nos tratamentos que apresentaram adubação nitrogenada mais tardiamente.

Salienta-se que somente a liberação de nutrientes da palhada muitas vezes não é suficiente para proporcionar maiores produções de matéria seca das

culturas, principalmente se as mesmas não são adubadas. Autores como [Canalli \*et al.\* \(2020\)](#) e [Mattei \*et al.\* \(2018\)](#) constataram que o tempo demandado para decomposição de aveia-preta é grande, sendo de 63% do material residual aos 160 dias após a semeadura e 51% aos 120 dias após a semeadura, respectivamente. [Acosta \*et al.\* \(2014\)](#) relata que a cultura da aveia-preta apresenta como característica a existência de imobilização temporária (principalmente de N), com liberações parciais e mais tardias para culturas subsequentes. Desse modo, a utilização da antecipação da adubação, em pré-semeadura ou sobre a cobertura de solo se torna uma possibilidade de utilização a fim de evitar tal problema.

As maiores produções de matéria seca do milho podem ser explicadas através da própria absorção de nutrientes pela planta. Na coleta realizada aos 27 DAS, por exemplo, foram encontrados maiores concentrações de N, P e K nas plantas que foram adubadas com N aos 15 DAS. Esse aumento é provindo justamente da aplicação de N antecipada, possibilitando melhor nutrição da planta. [Kennedy \*et al.\* \(2002\)](#) afirmam que o aumento das doses de N também aumenta os teores do nutriente nos tecidos, possibilitando maior potencial produtivo para matéria seca e para grãos. Além disso, lembra-se que existe uma forte relação entre os conteúdos de N:P e N:K, descritos por [Ziadi \*et al.\* \(2007\)](#) e [Plénet e Lemaire \(1999\)](#), respectivamente. Assim, os aumentos para P e K também são advindos da própria aplicação de N.

Um maior aporte de N também pode estar atrelado a cobertura de solo utilizada. A própria composição química do material vegetal, espécies e a quantidade estão relacionados ao processo de liberação de nutrientes através da decomposição. Com a condição de pousio, houve a possibilidade de crescimento de plantas espontâneas, que poderiam melhorar a quantidade do material sobre o solo. Sabe-se que a adição de plantas leguminosas em consórcio com gramíneas, por exemplo, faz com que o material tenha uma relação C/N menor, possibilitando uma velocidade de liberação superior ([CANALLI \*et al.\*, 2020](#)). Porém, como grande parte do material sobre o solo no tratamento de pousio foi composto por azevém comum, essa melhora na qualidade do material não existiu. [Assmann \*et al.\* \(2014\)](#) também relatam que a quantidade de N liberado para o sistema é dependente da quantidade de material vegetal sobre o solo, onde foi constatada a liberação de 64 kg N ha<sup>-1</sup> pela palhada de trigo não pastejada. Possivelmente a quantidade de biomassa sobre o solo era maior para o tratamento com cobertura de aveia-preta, possibilitando maiores liberações de N. [Mattei \*et al.\* \(2018\)](#) ao trabalharem com diferentes coberturas de solo (pousio, sem pastejo e com pastejo) observaram que as maiores quantidades de matéria seca sobre o solo ocorreram para os tratamentos de pousio e sem pastejo (5,2 e 6,8 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Por conta disso, a utilização de planta de cobertura possibilitou uma maior absorção de N das plantas de milho.

A influência da palhada do solo sobre o milho é melhor observada através das avaliações de status nutricional, utilizando-se os valores de N crítico e pelo índice nutricional nitrogenado. A melhor nutrição de N observada para o milho cultivado sobre o tratamento com cobertura de solo corrobora com o exposto anteriormente em relação ao teor médio de N nas plantas ser superior. Para as plantas de milho, a existência de quantidades suficientes de N trazem benefícios ao possibilitar o aumento do tamanho das plantas, número de brotações, produção de forragem e produção de grãos (ZIKI *et al.*, 2019). Apesar disso, as curvas geradas para todos tratamentos de tempo de aplicação de N ainda sugerem a má nutrição das plantas no início de desenvolvimento. Esse agravamento pode estar relacionado a imobilização de nutrientes pelos microrganismos do solo (VALICHESKI *et al.*, 2020), considerando a alta relação C/N da palhada de aveia-preta que estava sobre o solo. Problemas de imobilização microbiana de nutrientes, como comentado anteriormente, podem trazer consequência sobre a nutrição de cultivos posteriores, não coincidindo períodos de absorção e liberação dos nutrientes (MOMESSO *et al.*, 2019). Aplicações antecipadas (pré-semeadura) podem diminuir tal problema, possibilitando melhora da qualidade do material vegetal ou por diminuir a relação C/N.

Independente da situação de cobertura do solo, enfatiza-se o fato de que o tratamento com aplicação de N aos 15 dias após a semeadura promoveu recuperação do nível crítico de N das plantas de milho antes dos outros tratamentos. Por conta do menor tempo em que as plantas ficaram sob situação de níveis insuficientes de N, as mesmas responderam em maiores produções de matéria seca, corroborando com os resultados citados anteriormente. Segundo Agnusdei *et al.* (2010) a utilização das ferramentas que consideram o nível crítico de N em relação a matéria seca possibilitam o diagnóstico antecipado da nutrição das plantas, orientando a tomada de decisão do produtor, principalmente em casos de deficiência do nutriente. Por outro lado, aplicações tardias, como realizadas nos tratamentos de 30 e 45 DAS, apesar de recuperaram os níveis de N para uma situação adequada, o reestabelecimento possivelmente ocorreu após períodos significativos de demanda de N, resultando em menores produtividades de matéria seca.

Apesar da recuperação dos níveis de N para os tratamentos com a aplicação do nutriente, os níveis críticos de P e K apresentaram respostas diferenciadas. Para o P foi observada diluição do nutriente ao decorrer do tempo, como já esperado. Também se constatou relação semelhante ao observado por Ziadi *et al.* (2007) para milho e por Bélanger, Claessens e Ziadi (2011) para trigo onde existem queda no teor de P com o nível de N. A cultura utilizada em cobertura tampouco a época de aplicação de N influenciou esses valores, sendo todas as retas encontradas sob situação de limitação de nutrição de P. A mesma situação foi observada através do índice de P, não havendo recuperação do nível crítico ao passar do tempo, nem através da aplicação

de N. [Bélanger e Ziadi \(2008\)](#) ao trabalharem com a relação N:P mostraram que existem diferentes respostas de absorção dos dois nutrientes quando existem condições limitantes ou não-limitantes de N. Assim, plantas de *Phleum pratense* L. em condições de deficiência de N apresentaram menores concentrações de P para determinada quantidade de matéria seca. Outro ponto de grande influência sobre os resultados está na característica do solo da área. Apesar dos valores de P encontrados no solo serem considerados como altos ([SBCS, 2017](#)) existem fatores do próprio solo que contribuem para a situação de má nutrição de P. [Viviani et al. \(2010\)](#) comenta em seu trabalho que o P pode ter sua disponibilidade no solo influenciada por diversos fatores, sendo os principais relacionados ao pH e competição com outros ânions, sendo que a adsorção máxima ocorrerá com valores de pH mais baixos. [Fink et al. \(2016\)](#) também comenta que a menor disponibilidade do P para as plantas pode estar associado ao teor de óxidos de ferro e alumínio existente no solo. Nesse caso, é possível que esses valores realmente sejam altos, considerando que o solo apresenta alto grau de intemperismo, interferindo na disponibilidade de P e absorção.

No caso do K, também foi observado o efeito de diluição do nutriente nos tecidos, como esperado. A queda nos valores de K com o acúmulo da biomassa também foi identificada no trabalho de [Ferrazza \(2016\)](#) em pastagem de aveia-preta e azevém. Apesar dessa diminuição ao passar do tempo, os valores encontrados indicaram bom estado nutricional das plantas em todo o seu ciclo, visto que todas as retas se apresentaram acima da curva base. [Sartor \(2009\)](#) avaliando o índice de potássio para plantas de papuã encontrou situação similar, com índices excedentes de K mesmo havendo a diluição do nutriente. O bom estado nutricional de K deve estar relacionado ao teor de K encontrado no solo, que é considerado alto, não havendo restrição durante o cultivo.

Constata-se a influência exercida do N sobre a absorção de K nas plantas de milheto, visto que as concentrações dos nutrientes apresentam aumentos em momentos semelhantes. Segundo [Salette e Huché \(1991\)](#) existe um equilíbrio na absorção dos dois nutrientes, o que caracteriza os aumentos dos nutrientes de forma simultânea. Essa forte influência também pode ser verificada pela relação N:K, onde maiores teores de K no tecido das plantas acompanham maiores teores de N. A forte relação entre os elementos também foi verificada por [Maccari et al. \(2021\)](#) em seus estudos com milho.

#### 4.4.2 Experimento 2 – Cultura do milho

A produtividade de grãos média de milho para o presente trabalho foi de 12.123 kg ha<sup>-1</sup>. Esse valor se apresenta bastante elevado quando comparado à média nacional obtida em 2017 que foi de 5.264 kg ha<sup>-1</sup>, segundo a [Conab \(2018\)](#). Esses

valores demonstram o grande potencial de produção mesmo com a antecipação da adubação nitrogenada, não havendo prejuízos na produtividade de grãos da cultura. [Maccari et al. \(2021\)](#) por exemplo, encontraram valores de matéria seca acumulada para milho (18,3 t MS ha<sup>-1</sup>) próximas ao encontrado nesse trabalho, porém em condições de aplicação de N na dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> de forma antecipada sobre a pastagem.

As aplicações de N apresentaram efeito somente sobre a produção média de matéria seca das plantas de milho, sendo incrementada quando existiu aplicação de nitrogênio em pré-semeadura e em cobertura. Essa situação, em um primeiro momento, demonstra a possibilidade de realizar a antecipação da adubação nitrogenada com ganhos em produção de matéria seca. [Momesso et al. \(2022\)](#) e [Momesso et al. \(2019\)](#) em trabalho sob mesmo protocolo avaliando a época de aplicação de N sobre a cultura constataram que a aplicação 35 dias antes da semeadura (sobre a cultura de cobertura), um dia antes da semeadura (sobre a palhada da cultura de cobertura) e em cobertura no milho proporcionaram altas produtividades de grãos. Em específico para o tratamento em pré-semeadura, o mesmo respondeu em uma produção de 13,8 t grãos ha<sup>-1</sup>.

Sabe-se que para milho, existe uma clássica resposta de produtividade em relação a doses de N ([KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013](#)) havendo incrementos em grãos e matéria seca ([GAVA et al., 2010](#)) na maioria dos casos. Geralmente essas aplicações de N são realizadas em cobertura sobre o milho, porém sendo passível de ocorrência de danos nas plantas ([SCHPERS; RAUN, 2008](#)), redução da disponibilidade de N pela imobilização microbiológica ([ROCHA et al., 2014](#)) e culminando em maiores custos operacionais de produção ([KANEKO et al., 2010](#)). Como alternativa, pode-se realizar a aplicação antecipada, que além da redução dos problemas citados, também pode proporcionar maior flexibilidade em relação ao tempo de aplicação de N ([MOMESSO et al., 2022](#)) e melhorar a qualidade do material depositado sobre o solo (diminui a C:N), reduzindo problemas de insuficiência de N em início de desenvolvimento.

As quantidades absorvidas de N pelo milho foram claramente influenciadas pela adubação nitrogenada. Independente da época de aplicação, as concentrações de N nos tecidos foram maiores para locais adubados. Nesse caso, a produção matéria seca encontrada deve estar relacionadas a esses valores. [Nascimento et al. \(2012\)](#) mostra em seu trabalho que a concentração de N nas folhas de milho aumentam com a maior disponibilidade de N através da adubação. [Souza et al. \(2016\)](#) também encontraram incrementos na concentração de N com o aumento das doses, porém, a época de aplicação (pré-semeadura e cobertura) não interferiu sobre esse conteúdo de N, corroborando com este trabalho. Desse modo, observa-se que mesmo com a utilização da antecipação, houve aumento da concentração de N, ou seja, com real absorção pelas plantas de milho. Vale ressaltar que a aplicação em cobertura também

incrementa o conteúdo de N na planta. Porém, lembra-se que apesar dos aumentos no N% boa relação com a produção, há possibilidade de existir condição de consumo de luxo.

A utilização das curvas de diluição para verificação do status nutricional de plantas em sistemas de produção já foi utilizado por [Sartor \*et al.\* \(2014\)](#), [Bernardon \*et al.\* \(2020\)](#) e [Maccari \*et al.\* \(2021\)](#). Para [Assmann \*et al.\* \(2017\)](#), as curvas têm se mostrando como uma ferramenta segura para diagnose do estado nutricional de nitrogênio para milho e plantas forrageiras. No presente trabalho, as curvas puderam confirmar a possibilidade de antecipação de N. Através das curvas de diluição, onde há indicação de má nutrição de N, principalmente, para o tratamento sem a aplicação de N e para os locais adubados somente em cobertura. Logicamente esses resultados estão atrelados à falta de N para o bom desenvolvimento da cultura, que apresenta respostas positivas sobre a absorção e acúmulo de N nos tecidos. Além disso, a limitação por conta de imobilização microbiológica também pode ter atuado no tratamento sem aplicação de N e com aplicação somente em cobertura.

Sabe-se que a imobilização microbiológica de nutrientes, principalmente de N, apresenta grandes efeitos sobre a nutrição no início do desenvolvimento de culturas sucessoras no sistema de Plantio Direto. Especialmente quando se utilizam gramíneas como planta de cobertura (como no presente estudo), o aporte de C para o sistema é superior levando a imobilização biológica ([LIU \*et al.\*, 2016](#)). Por outro lado, independente da época de aplicação, há sinalização de boa nutrição das plantas de milho. Logo, a aplicação de N em pré-semeadura surge como uma alternativa a ser utilizada ([CABEZAS \*et al.\*, 2004](#)).

A confirmação da possibilidade de utilização da antecipação da adubação nitrogenada também é verificada através do índice nutricional nitrogenado. As áreas que receberam nitrogênio de forma antecipada ou na cobertura responderam índices nitrogenados superiores. [Bono \*et al.\* \(2018\)](#) ao estudarem estratégias de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho no Mato Grosso do Sul, observaram que a antecipação do N 30 dias antes da semeadura e no momento do plantio possibilitaram bons conteúdos de N nos tecidos, indicando que valores críticos foram atingidos. Além disso, para esses tratamentos, independente da época em que o N foi aplicado, foi possível obter os maiores rendimentos de grãos ( $7.093 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em comparação as áreas sem N. [Reginatto \*et al.\* \(2021\)](#) observaram em seu trabalho que em sistemas de produção que apresentam em sua rotação a sequência de aveia+milho existe a necessidade de realização de adubação antecipada, principalmente por conta da nutrição da cultura de grãos em estágio inicial.

O fósforo também apresenta grande importância para a nutrição das plantas de milho. O seu conteúdo nos tecidos, como já esperado, apresentou efeito de diluição,

também observado por [Gagnon et al. \(2020\)](#) e [Morel, Plénet e Mollier \(2021\)](#), com diminuição dos conteúdos de P no tecido de milho com o aumento no acúmulo de matéria seca. Mesmo com a aplicação de N em cobertura, a diluição do P foi muito similar entre os tratamentos, possivelmente por conta dos resultados observados para N. Sabe-se que os teores de P também apresentam correlação positiva com os teores de N na planta. Com a realização da adubação nitrogenada, por exemplo, é possível aumentar o acúmulo de biomassa, havendo um efeito mais acentuado de diluição do P ([ZIADI et al., 2007](#)). Como no presente trabalho houve situação de boa nutrição de N independente da época de aplicação, os conteúdos de P acompanharam tal situação, demonstrando valores similares de P no tecido do milho para os locais com aplicação de N.

Com a existência da relação N:P, é possível desenvolver uma ferramenta de predição baseada nos conteúdos nutricionais em relação ao estado nutricional de plantas independente de clima e tipo de solo, obtendo informações também sobre o P disponível para absorção ([CADOT et al., 2018](#)). [Salette e Huché \(1991\)](#) sugerem que níveis adequados de nutrição de N promovem maior absorção de P, quando existem níveis suficientes no solo. Para o presente trabalho a relação entre P:N indicou má nutrição de P para todos os tratamentos. O IP também mostrou que as plantas de milho não atingiu o nível crítico de nutrição para P em todas as coletas. Esses resultados devem estar atrelados às condições de solo encontradas no experimento. O solo apresenta nível de P classificado como muito alto ([SBCS, 2017](#)), porém outros fatores químicos do solo podem interferir em sua disponibilidade, culminando em má nutrição das plantas. Exemplo disso pode ser visto através das influências do pH, minerais (Fe e Al) e óxidos. [Penn e Camberato \(2019\)](#) comentam que o pH de 6,5 é o que resulta em maior solubilidade do P. Além disso, em pH mais baixos (como no presente trabalho) há grande possibilidade fixação do P pelo Fe. Somado a isso, temos a adsorção pelo óxido de Fe e Al, algo muito característico de latossolos. Todas essas características possivelmente interferiram na má nutrição do milho observada através da relação N:P.

O efeito de diluição também ocorreu para o K. Essa diminuição da quantidade de K na parte aérea com o maior acúmulo de matéria seca também foi constatado por [Maccari et al. \(2021\)](#). Os mesmos autores comentam sobre a não existência de estudos com a relação entre N:K em plantas de milho. A relação entre os nutrientes já foi descrita por [Salette e Huché \(1991\)](#), onde plantas forrageiras que receberam maiores doses de N absorveram também maiores quantidade de K. Mais uma vez, é possível constatar a influência que um nutriente tem sobre o outro. Apesar de a relação N:K, ainda não existem retas/equações a serem utilizadas como base para a cultura do milho. [Maccari et al. \(2021\)](#) cita em seu trabalho que ainda não existem referências para esse tipo de planta, mas que a relação pode ser utilizada futuramente para compor a diagnose de plantas.

#### 4.5 Conclusões

Os melhores resultados foram encontradas nas aplicações de nitrogênio na cobertura do milheto, principalmente aos 15 depois da semeadura. Ainda, a não aplicação de N ou a aplicação tardia prejudicam a nutrição de N, visualizadas através das curvas de diluição de N crítico. A adição de cobertura de aveia-preta proporcionou maior teor de N para as plantas de milheto.

A realização da antecipação da adubação nitrogenada de plantas de milho pode ser realizada sem prejuízo a nutrição de N com verificação através da ferramenta de curva de diluição de N crítico.

Tanto para milho, quanto para o milheto, foram constatadas relações positivas entre N:P e N:K. Principalmente para a relação entre N:P, observou-se que os níveis disponíveis de P não foram suficientes para promover uma nutrição adequada de fósforo para as plantas de milho e milheto. Para a relação N:K ainda há a necessidade de maiores estudos aplicados a plantas de milho.

A utilização da ferramenta de curva de diluição de N crítico demonstrou grande potencial na predição do status nutricional de milho e milheto. A relação positiva encontrada entre os nutrientes N:P e N:K para o milho e o milheto também pode ser utilizada como forma de conhecimento do status nutricional.



## 5 Antecipação de adubação potássica para soja na cultura da braquiária (*Urochloa brizantha*)

### 5.1 Introdução

Solos com altos teores de areia em sua composição devem apresentar manejos específicos em relação à aplicação de fertilizantes nas culturas. Por conta de sua textura, geralmente esses solos tem uma capacidade de retenção dos nutrientes inferior, podendo causar maiores problemas de perdas no perfil do solo. De modo geral, a CTC desses solos é menor (LANGE *et al.*, 2019), considerando o material de origem, culminando em menores quantidade de cargas negativas no solo, assim retendo uma menor quantia de cátions. Ainda, a capacidade de retenção de água por esses tipos de solos também são menores, causando carreamento de nutrientes (MENDES *et al.*, 2016) e por conta disso havendo menor disponibilidade para absorção das plantas.

Em específico para a adubação potássica, o manejo pode apresentar alterações em relação à locais de solo mais argilosos. O potássio é um elemento que, conforme a característica do solo, pode apresentar alta mobilidade no perfil Andrews *et al.* (2021). Essa características vindas do própria cátion  $K^+$  ou até mesmo do fertilizante utilizado (LEAL *et al.*, 2015), que geralmente é o KCl, fazendo com que estratégias sejam utilizadas a fim de se ter uma maior eficiência de utilização. Para os solos arenosos, o manejo para a adubação potássica é o de não realizar aplicações de alta concentração em linha, dessa forma realizando o parcelamento com aplicação em pré-plantio e em cobertura (ZANCANARO; TESSARO; HILLESHEIM, 2002). Porém, é importante considerar que ao adotar tal estratégia, há possibilidade de aumento desnecessário de operações com maquinários, além de possibilidade de amassamento do plantas.

Uma forma de melhorar as características do solo está em aumentar as cargas negativas no solo está na adição de material orgânico ao solo (CIOTTA *et al.*, 2003), tendo assim uma maior possibilidade de retenção de nutrientes. Para isso, é possível utilizar dos proventos promovidos pelo SPD. A palhada sobre o solo nesse sistema tem como principal objetivo a proteção do solo contra problemas erosivos (TELLES; REYDON; MAIA, 2018). Porém, existem benefícios agregados que devem ser exaltados, como por exemplo, os efeitos sobre a matéria orgânica do solo e a ciclagem de nutrientes (NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2015). Pinheiro *et al.* (2015) ao estudar diferentes manejos de revolvimento em solos arenosos, concluíram que o SPD foi a estratégia que apresentou maior incremento de matéria orgânica, mostrando a importância dos resíduos culturais sobre o solo. Miguel *et al.* (2018) trabalhando com SPD e cobertura de *U. ruziziensis* concluíram que planta é uma boa opção a ser

utilizada, visto que a mesma foi capaz de produzir altas quantidades de matéria seca, aumentando a cobertura de solo e promovendo maior ciclagem de nutrientes, fato que influenciou na produção de grãos de soja.

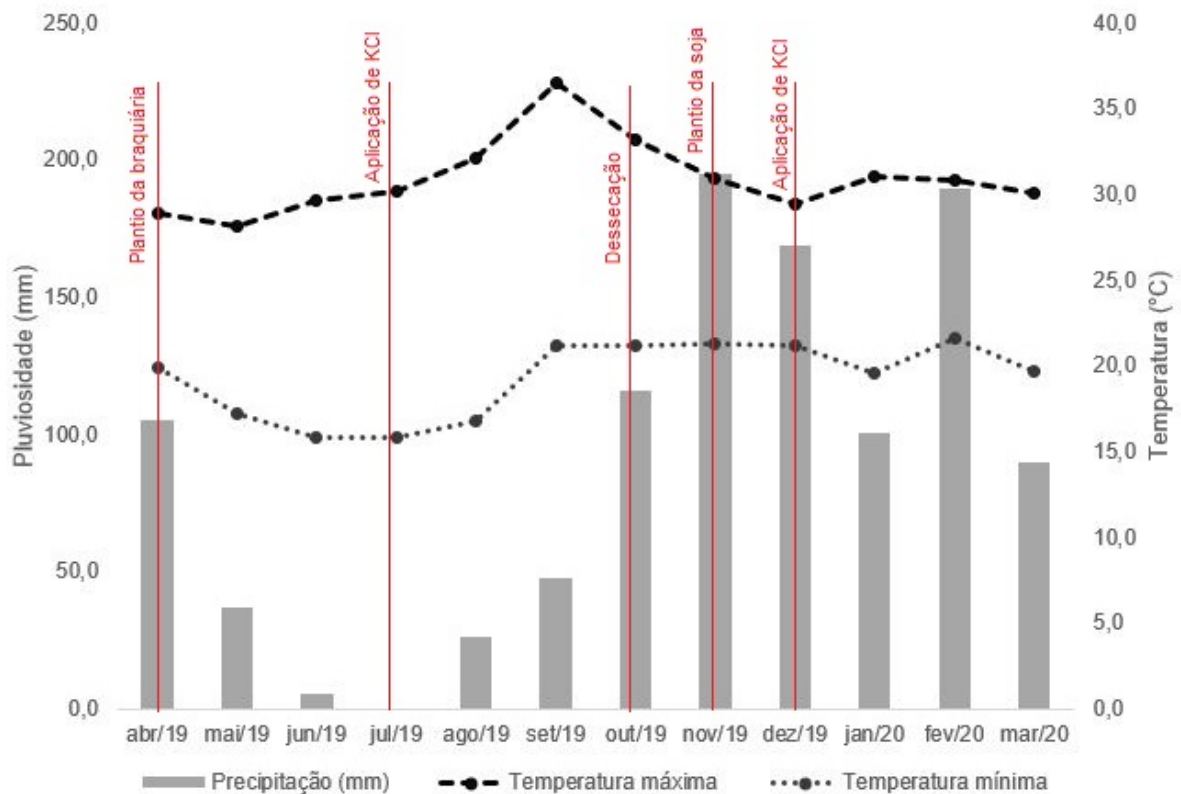
Uma outra forma de sanar os problemas enfrentados com a adubação potássica em solos arenosos, também está relacionada as plantas de cobertura cultivadas no sistema. Nesse caso, a realização da antecipação da adubação de K, pode ser uma alternativa viável. Ao se aplicar o K sobre plantas de cobertura, as mesmas podem absorver o nutriente, estocando-o em seus tecidos, disponibilizando-os posteriormente para a cultura subsequente (ROSSI *et al.*, 2013). Além disso, dependendo da espécie utilizada para cobertura de solo, há possibilidade de maior exploração do perfil do solo, absorvendo nutrientes de camadas que as plantas de cultivo comercial não conseguiriam, trazendo-os a superfície (BAPTISTELLA *et al.*, 2020). Logo, a palhada, em específico para os solos arenosos, tem função de reservatório de nutrientes (AMADO, 2000), onde os mesmos podem ficar alojados por muito mais tempo, visto que apresentam liberações mais lentas e graduais.

Bernardes *et al.* (2010) ao avaliar a decomposição e liberação de nutrientes do resíduo de *U. brizantha* constataram que a planta estocou uma quantidade de 229,1 kg N ha<sup>-1</sup>, 38 kg P ha<sup>-1</sup> e 78,3 kg K ha<sup>-1</sup>. Para esses nutrientes, as liberações foram de 38, 49 e 59% para N, P e K, respectivamente, aos 75 dias após a deposição do material. Cavalli *et al.* (2018) também estudando a decomposição e liberação de nutrientes da braquiária verificaram que o nutriente liberado em maior quantidade é justamente o K, que apresentou meia-vida de 16 dias, contribuindo assim grandemente para a nutrição de outras plantas. Essa contribuição foi observada por Foloni e Rosolem (2008), onde se constatou que a antecipação de 60 a 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> sobre a cultura do milho não comprometeu a produtividade da soja em solo de textura média. Porém, é importante salientar que não existem trabalhos relacionando o efeito da antecipação de K sobre a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos e a produtividade de culturas comerciais em solos arenosos. Por conta disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da antecipação da adubação potássica sobre a liberação de N, P e K dos restos culturais de *U. brizantha* e seu efeito sobre a produtividade da cultura da soja.

## 5.2 Material e métodos

O experimento foi realizado durante o período de abril de 2019 a abril de 2020 no município de Paraíso das Águas – MS, mais precisamente na fazenda Primavera (19°14'5.63"S; 53°14'39.26"O), a 677 m de altitude com relevo levemente ondulado. O clima da região é classificado como tropical com estação seca (Aw) segundo a classificação Köppen. Os dados meteorológicos do período experimental estão dispostos na Figura 31. O solo é classificado como Neossolo quartzarênico com

alto teor de areia (87%). As características químicas do solo na profundidade de 0 a 20 cm no início do período experimental eram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,5; matéria orgânica (MO) = 17,0; P (Resina) = 21,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,12 cmol(c)dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,2 mg dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,5 mg dm<sup>-3</sup>; V% = 56,3%; CTC = 5,7 cmol(c)dm<sup>-3</sup>.



**Figura 31 – Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de abril de 2019 a março de 2020. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

O delineamento experimental para avaliação de *litter-bags* foi de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas subdivididas no tempo e no espaço. O primeiro fator, alocado nas parcelas principais, foram doses de potássio aplicadas sobre a *U. brizantha* nas quantidades de 0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (K-Braquiária 0 e K-Braquiária 120, respectivamente). Nas sub-parcelas foram alocados os tratamentos de doses de potássio aplicadas em cobertura na cultura da soja nas doses de 0, 30, 60 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (K-Soja 0 e K-Soja 120, respectivamente). O terceiro fator avaliado nas sub-sub-parcelas foram as datas de retirada de *litter-bags* aos 0, 15, 30, 60 e 90 dias após a deposição. No caso da avaliação de produtividade de grãos, foram considerados somente os fatores alocados nas parcelas e subparcelas (doses de potássio sobre a braquiária e doses de potássio sobre a cultura da soja).

A semeadura da *U. brizantha* foi realizada a lanço no dia 19 de abril de 2019 com auxílio de grade niveladora na densidade de 8 kg de sementes ha<sup>-1</sup>. A braquiária

foi utilizada somente como planta de cobertura. Aos 90 dias após a semeadura da braquiária foi realizada a adubação de potássio em cobertura nas devidas parcelas na dose de 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na forma de KCl (60%). No dia 14/08/19 foi realizado o manejo de dessecação da braquiária com a utilização dos herbicidas: Paraquat (1,2 L ha<sup>-1</sup>), Glifosato (5,0 L ha<sup>-1</sup>), Clorimuron (80 g ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (0,4 L ha<sup>-1</sup>) e Diclosulam (21 g ha<sup>-1</sup>).

A semeadura da soja ocorreu no dia 13 de novembro de 2019, utilizando-se o híbrido 98Y30 RR2 Pioneer®. As sementes utilizadas foram tratadas com fungicidas, inseticida e inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. O processo foi realizado com semeadora adubadora com espaçamento de 0,45 cm, profundidade de semeadura de xx cm e uma população de plantas de 260.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Com 30 dias após o plantio da soja, foi realizada a aplicação do potássio em cobertura utilizando as doses de 0, 30, 60, 90 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na forma de KCl (60%).

Para avaliação da taxa de decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes foram utilizados sacos de decomposição (*litter-bags*). Os *litter-bags* foram confeccionados com tecido de nylon com malha de 2 mm com dimensões de 20 x 20 cm. Em cada um dos *litter-bags* foram adicionados 100 g de matéria seca de braquiária previamente coletada a campo (antes da dessecação) de forma aleatória dentro das parcelas. Foram depositados quatro *litter-bags* em cada sub-parcela no momento da semeadura da soja e foram recolhidos aos 15, 30, 60 e 90 após a deposição. Após a coleta a campo, o conteúdo dos *litter-bags* foi levado para a estufa a 65 °C até peso constante. Logo, as amostras foram pesadas em balança de precisão. Assim, a taxa de decomposição foi avaliada através da diferença de peso inicial menos a quantidade remanescente ao longo dos períodos de avaliação. As amostras seguiram para moagem em moinho tipo *Willey* com malha 2 mm e em seguida foram determinados os teores de N, P e K através da metodologia descrita por [Tedesco et al. \(1995\)](#), onde a velocidade de liberação dos nutrientes foram calculadas através da diferença de concentração de N, P e K do material inicial e ao decorrer das avaliações.

As taxas de decomposição da matéria seca e a taxa de liberação de nutrientes pela palhada da braquiária foram estimadas através de ajuste a um modelo de regressão não-linear aos valores observados ([WIDER; LANG, 1982](#)). O modelo ajustado é representado da seguinte forma:

$$X = Ae^{-kat} + (100 - A)$$

Onde: X representa a porcentagem de matéria seca ou teor de nutrientes remanescente em um tempo t (dias); ka representa uma constante de decomposição da matéria seca ou liberação de nutrientes do compartimento mais facilmente decomponível (A).

A mesma equação utilizada para determinar a taxa de decomposição foi utilizada para a avaliação da taxa de liberação de nutrientes. Para isso, houve substituição do X por N, P e K. A liberação cumulativa de N, P e K foi estimada por diferenças entre a quantidade inicial dos nutrientes no resíduo e a quantidade dos mesmos em cada data de coleta.

Através da obtenção da constante de decomposição, também se estimou o tempo para o desaparecimento de 50% da biomassa (meia-vida;  $T_{1/2}$ ) dos nutrientes nos resíduos culturais remanescentes a partir da equação proposta por [Paul e Clark \(1989\)](#):

$$T_{1/2} = 0,693 / k(a,b)$$

Durante o período experimental, também foram avaliados os teores de N, P e K no solo. Foram realizadas três coletas: I – anterior a adubação de potássio da braquiária; II – após a adubação de potássio da braquiária (04/07/19); III – após a adubação de potássio sobre a cultura da soja (12/10/19). As coletas I e II foram realizadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. A coleta III foi realizada nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Foram realizadas amostragens em três pontos de cada unidade experimental, sendo as mesmas homogeneizadas, formando uma amostra composta. Após a coleta a campo, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçado a 55 °C até peso constante. Logo, foram moídas em moinho específico para solo utilizando malha de 2 mm. Para análise em laboratório, seguiu-se a metodologia descrita por [Tedesco et al. \(1995\)](#).

Com o intuito de verificar o efeito dos tratamentos aplicados, também foi realizada produtividade de grãos da soja. Para tal avaliação, foram colhidas as plantas em uma área de 2 m<sup>2</sup> em cada unidade experimental, onde foram trilhadas mecanicamente. Após, as amostras foram pesadas em balança de precisão, precedida da verificação da umidade dos grãos. Logo, a umidade foi corrigida e a produtividade foi estimada para quilos por hectare.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. As variáveis que apresentaram diferença significativa foram comparadas pelo teste LSD em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Statgraphics.

Para determinação das curvas de decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes, foi efetuado o procedimento de regressão não-linear dos dados selecionados, gerando os coeficientes através do software estatístico Statgraphics. As curvas foram representadas graficamente através do programa SigmaPlot.

### 5.3 Resultados

A análise da variância para produtividade de grãos, matéria seca remanescente, matéria seca residual, teores iniciais de N, P e K de palhada de braquiária estudadas nesse capítulo estão apresentados na Tabela 5. Para o fator de aplicação de K na soja, não houve significância para nenhuma das variáveis. No caso do fator aplicação de K na braquiária, houve resultado significativo para produtividades de grãos, matéria seca residual, porcentagem de matéria seca remanescente e teor inicial de N nas plantas de braquiária. O fator tempo apresentou efeito somente sobre a porcentagem de matéria seca remanescente. Houve interação significativa entre os fatores aplicação de K na soja e aplicação de K na braquiária para a produtividade de grãos. Já no caso da porcentagem de matéria seca remanescente, houve efeito significativo para a interação entre os fatores aplicação de K na soja e tempo.

**Tabela 5 – Análise da variância da produtividade de grãos, matéria seca remanescente, matéria seca residual, teores iniciais de N, P e K de palhada de braquiária em função dos fatores aplicação de doses de potássio sobre a braquiária, doses de potássio aplicadas sobre a soja e tempo de coleta em dias após a deposição. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Fatores	Produtividade de grãos	Matéria seca residual	N	P	K	Porcentagem de matéria seca remanescente
K-soja (A)	0,3666	1	1	1	1	0,2063
K-braq (B)	0,0073*	0,0000*	0,0091*	0,9267	0,1123	0,0000*
Tempo (C)	-	1	-	-	-	0,0000*
AxB	0,0138*	1	1	1	1	0,9734
AxC	-	1	-	-	-	0,0021*
BxC	-	1	-	-	-	0,9652
AxBxC	-	1	-	-	-	0,4924

\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

A análise de variância para o teor de N, P e K remanescente e teor de N, P e K liberado pela palhada de braquiária estão dispostos na Tabela 6. Para o fator aplicação de K na soja não efeito significativo para nenhuma das variáveis. Já para o fator aplicação de K sobre a braquiária houve efeito significativo para a maiores das variáveis, exceto o teor de K liberado pelas plantas de braquiária. O fator tempo apresentou efeito significativo para todas as variáveis estudadas. Já a interação entre os fatores aplicação de K na braquiária e tempo foi significativa para a maioria das variáveis, exceto o teor de K liberado na palhada da braquiária. Já a interação entre os fatores aplicação de K na soja, aplicação de K na braquiária e o tempo foi significativo para o teor de K remanescente na palhada.

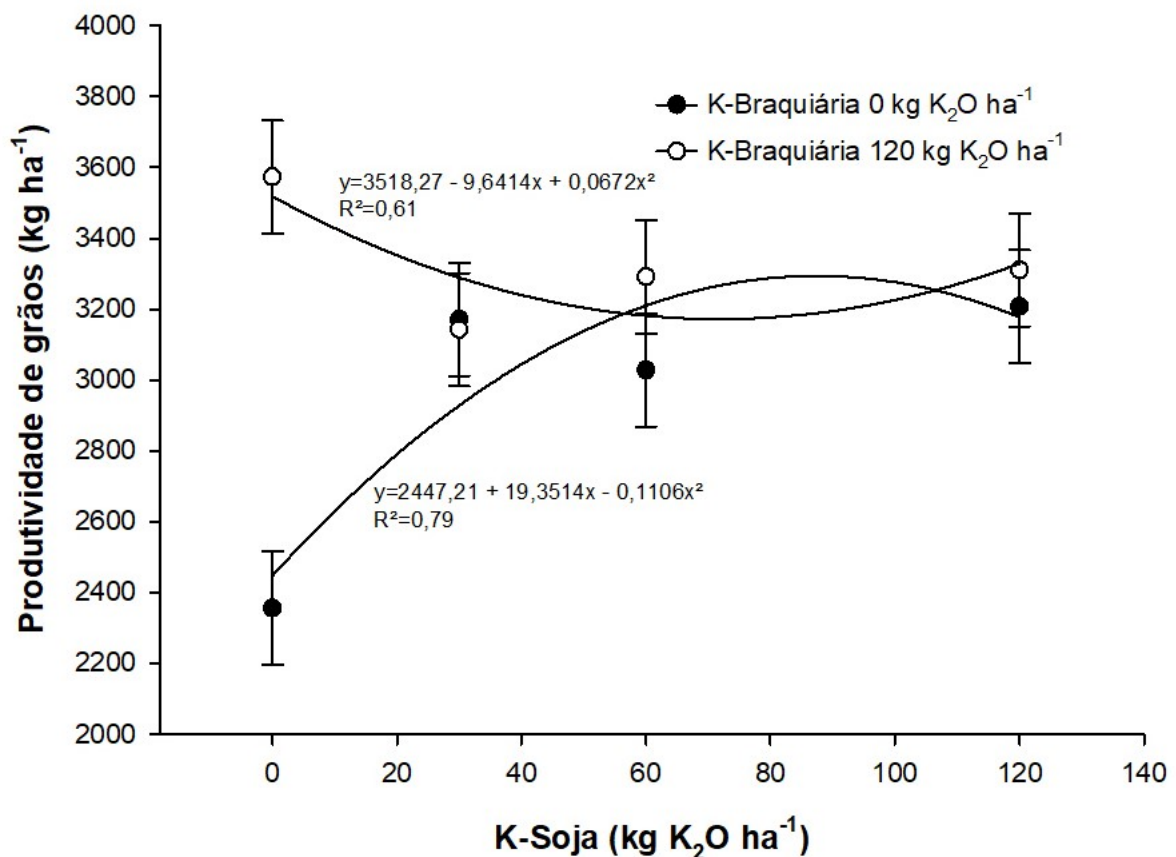
A produtividade de grãos de soja foi influenciada pela interação entre os fatores de aplicação de potássio com diferentes doses realizadas sobre a braquiária e sobre a cultura da soja ( $P=0,0138$ ; Tabela 5). Os dados não se adequaram à maior produtividade de grãos foi encontrada para o tratamento com aplicação de K sobre a

**Tabela 6 – Análise da variância da porcentagem de N, P e K remanescente e quantidade de N, P e K liberado da matéria seca de braquiária em função dos fatores aplicação de doses de potássio sobre a braquiária, doses de potássio aplicadas sobre a soja e tempo de coleta em dias após a deposição. UTFPR, Pato Branco - PR, 2022.**

Fatores	Remanescente			Liberado		
	N	P	K	N	P	K
K-soja (A)	0,2539	0,8562	0,3829	0,2512	0,6834	0,8236
K-braq (B)	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,6925
Tempo (C)	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
AxB	0,0712	0,2090	0,1691	0,0686	0,0522	0,8140
AxC	0,5339	0,9038	0,7851	0,6002	0,9303	0,9997
BxC	0,0033*	0,0004*	0,0050*	0,0034*	0,0000*	0,9502
AxBxC	0,6498	0,1060	0,0356*	0,5419	0,9103	0,9747

\*significativo a 5% de probabilidade de erro.

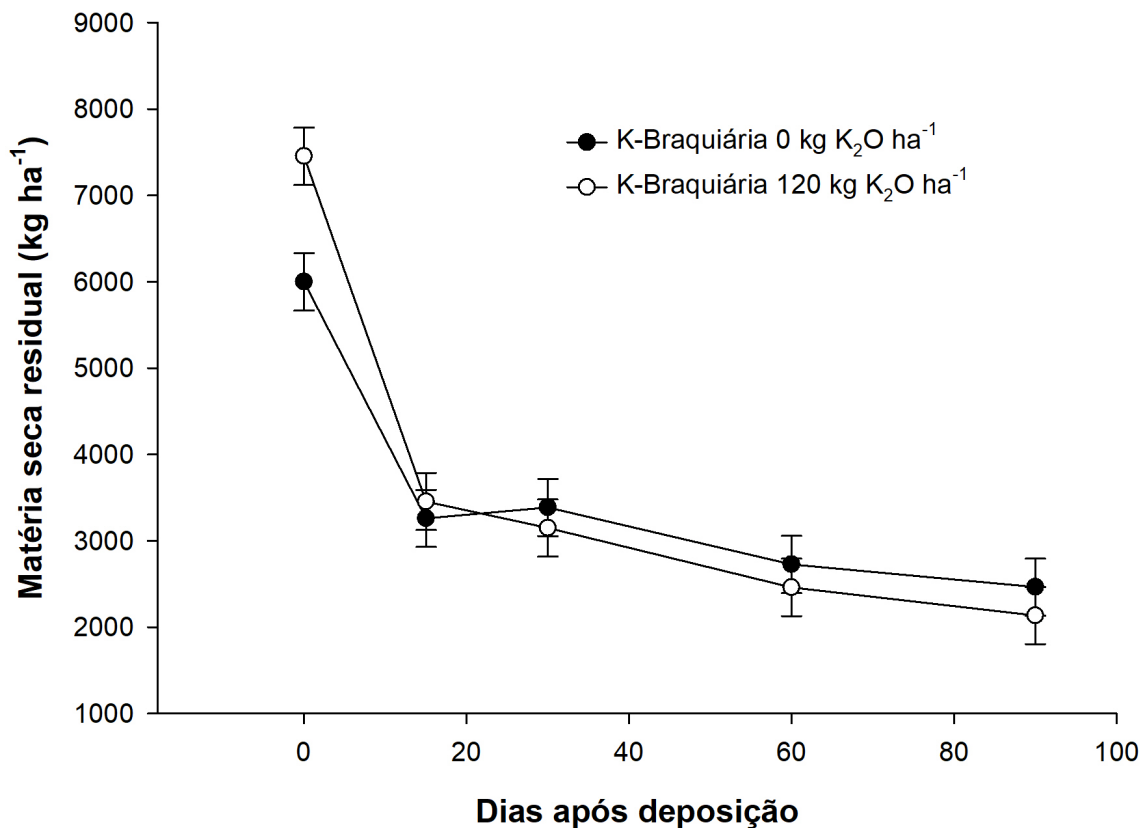
braquiária (K-Braquiária 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e sem a aplicação de K na cobertura da soja (3.573 kg ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, a menor produtividade de grãos ocorreu para o tratamento sem aplicação de potássio em nenhuma das fases (2.356 kg ha<sup>-1</sup>). As aplicações de K sobre a soja resultaram em produtividades semelhantes, independente da aplicação de K sobre a braquiária.



**Figura 32 – Produtividade de grãos de soja (kg ha<sup>-1</sup>) em função de doses de potássio aplicados sobre a braquiária (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e doses aplicadas na cobertura da soja (0, 30, 60 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). UTFPR, Pato Branco, 2022.**

O material residual sobre o solo também foi influenciado pelas doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária) e pelos dias após a deposição ( $P=0,00416$ ); Figura 33). A quantidade de material apresentou diferença apenas aos 0 dias, onde o local que foi realizada aplicação de K na braquiária produziu 7453,3 kg MS ha<sup>-1</sup>, uma diferença de 1453,3 kg MS ha<sup>-1</sup> em relação ao local que não recebeu adubação potássica. Para ambos tratamentos houve queda na quantidade de matéria seca sobre o solo, demonstrando o processo de decomposição da matéria seca.



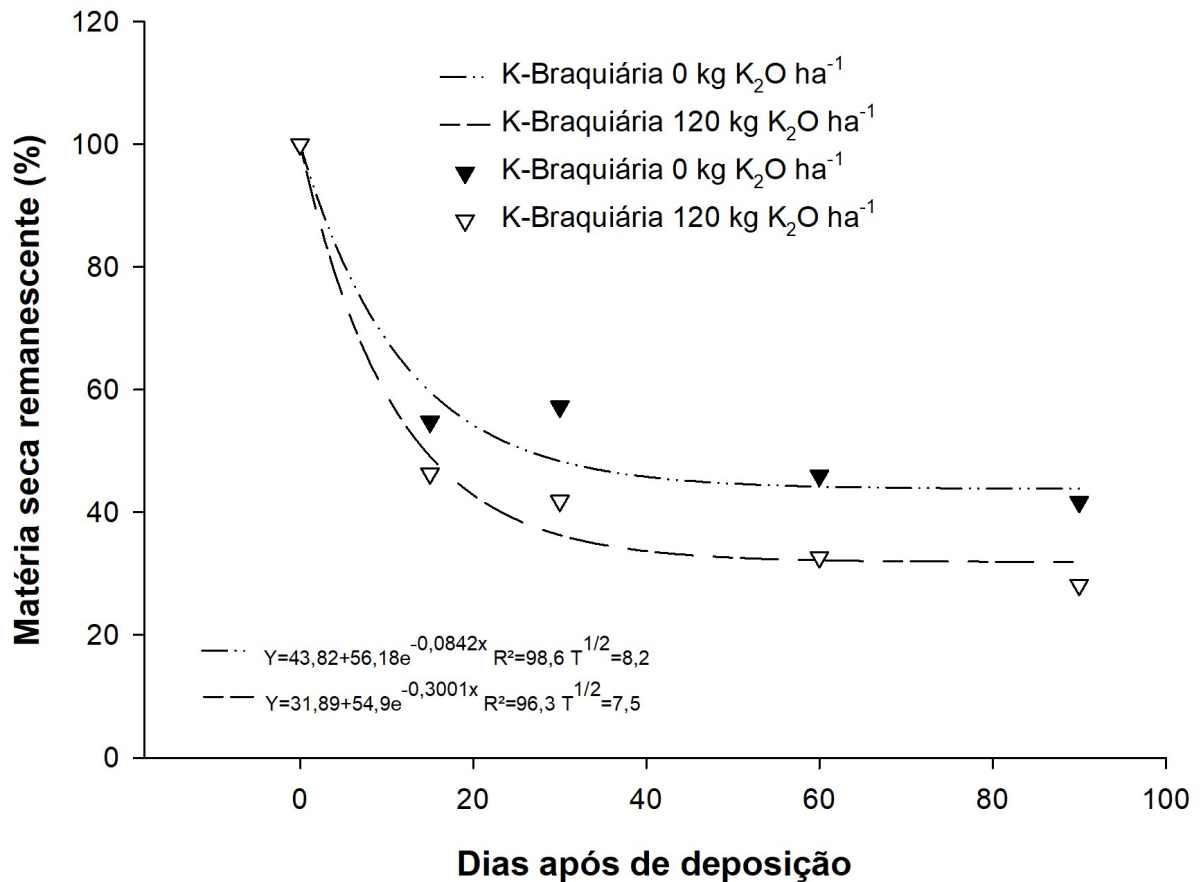


**Figura 33 – Matéria seca remanescente (kg ha<sup>-1</sup>) da braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

Para os teores de nutrientes existentes na palhada da braquiária, somente os teores iniciais de N foram influenciados pelo fator dose de K aplicado sobre a braquiária ( $P=0,0091$ ; Tabela 6). Quando o K foi aplicado na dose 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> sobre a braquiária, as plantas estocaram em média 94,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Para o tratamento sem a aplicação de K sobre a forrageira, a média foi de 81,6 kg N ha<sup>-1</sup>. Para P e K, não houve interferência dos tratamentos em relação à absorção dos nutrientes, resultando em uma média de 54,56 kg P ha<sup>-1</sup> e 106,98 kg K ha<sup>-1</sup>.

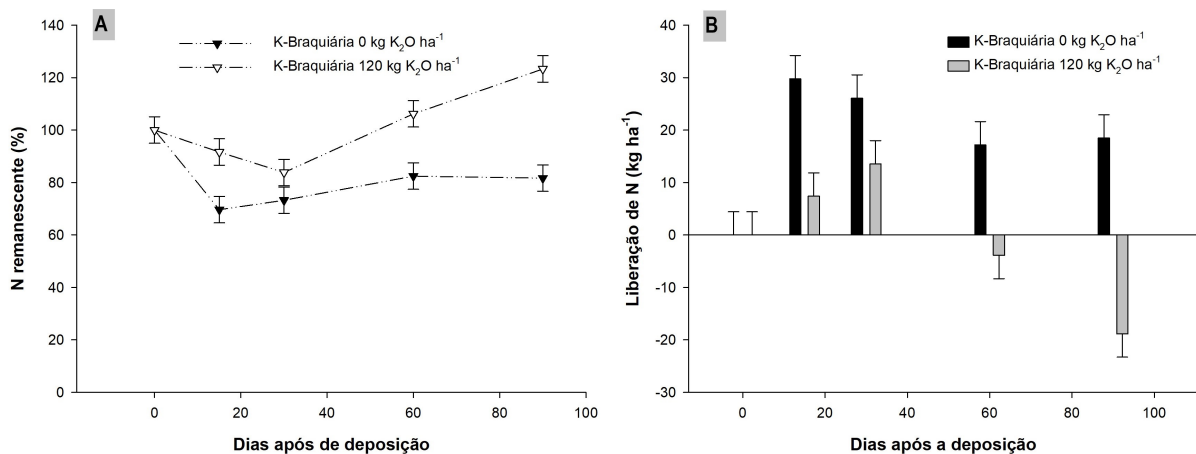
A partir da avaliação da matéria seca ao decorrer do tempo, foi possível obter valores de decomposição e quantidade de nutrientes liberados do material residual. A porcentagem de matéria seca remanescente foi influenciada pela interação entre os fatores aplicação de K sobre a braquiária e tempo ( $P=0,0021$ ; Figura 34). O tratamento K-Braquiária 120 apresentou decomposição mais rápida em relação ao K-Braquiária 0, com valores mais baixos de matéria seca remanescente em todas as coletas. Assim, constata-se o aumento da velocidade de decomposição com a aplicação antecipada

de K sobre a braquiária.



**Figura 34 – Comportamento da porcentagem matéria seca remanescente (%) de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

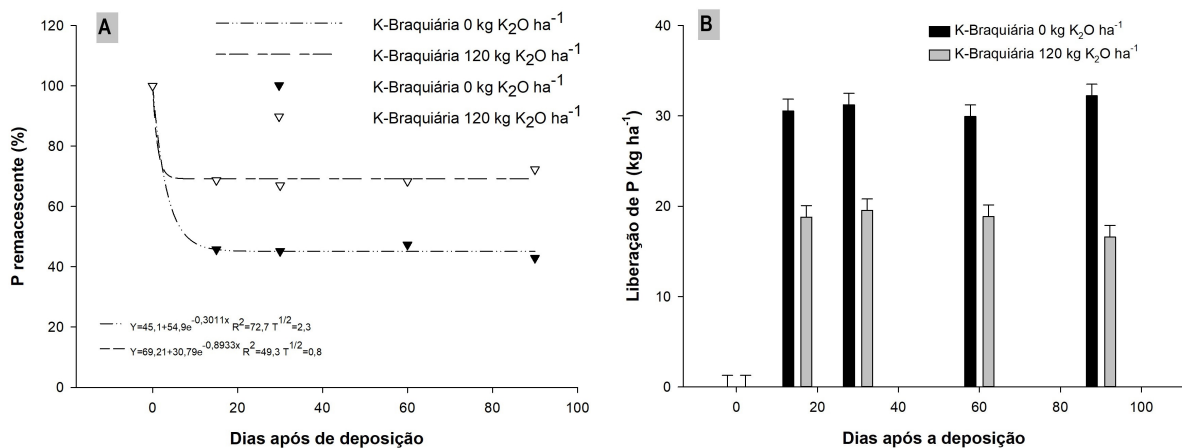
O N remanescente na palhada da braquiária não se adequou à equação exponencial. Os valores da porcentagem de N remanescente também foi influenciada pelas doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária) e pelos dias após a deposição ( $P=0,0033$ ; Figura 35A). O N remanescente na palhada foi superior para o tratamento K-Braquiária 120 na maioria das coletas. Nesse houve queda até a coleta realizada aos 30 dias após a deposição (variação de 16,62 pontos percentuais). Posterior a isso, os valores aumentaram, alcançando os maiores valores nas coletas finais, atingindo valor superior a 100% aos 60 e 120 dias. Para o K-Braquiária 0 as mudanças nas porcentagens de N remanescente expõe uma menor variação nas coletas de 15 até 120 dias após a deposição, com uma média de 69,1% de N remanescente.



**Figura 35 – Porcentagem de nitrogênio remanescente (%) (A) e liberação de N (kg ha<sup>-1</sup>) (B) da palhada de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a braquiária e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

A liberação de N da palhada da braquiária também foi influenciada pelas doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária) e pelos dias após a deposição ( $P=0,0034$ ); Figura 35B). Não houve um comportamento específico para a liberação do nutriente em relação às coletas. O N liberado pela palhada foi superior para o tratamento K-Braquiária 0 nas coletas de 15, 30, 60 e 120 dias após a deposição. Os maiores valores foram observados para as duas primeiras coletas (15 e 30; 29,7 e 26,08 kg ha<sup>-1</sup>). Para o K-Braquiária 120, a liberação foi crescente para as coletas dos 15 e 30 dias após a deposição (7,39 e 13,56 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Porém, as coletas posteriores mostraram liberações de N superiores ao que já havia no material (valores negativos).

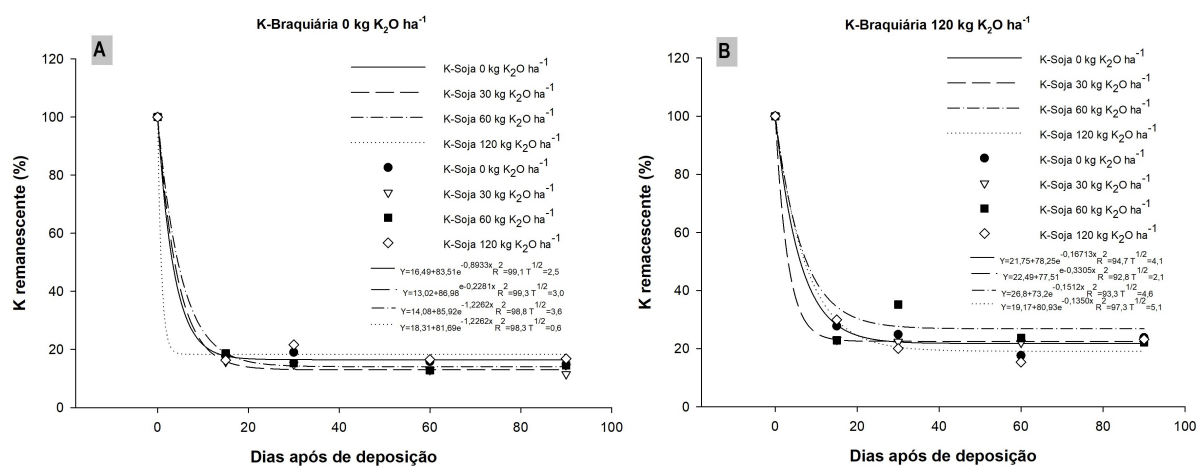
O P remanescente na palhada também foi influenciado pela interação entre doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária) e pelos dias após a deposição ( $P=0,0004$ ; Figura 36A). A quantidade de P remanescente foi superior para o tratamento K-Braquiária 120 (média de 69% para as quatro últimas coletas), indicando que para esse tratamento houve menor disponibilização do nutriente pela palhada, ou maior retenção na mesma. Ressalta-se que ambas curvas apresentam comportamento semelhante com queda no teor de P remanescente e estabilização nas coletas dos 15 dias após a deposição em diante. Pelos parâmetros das equações de liberação de P, a maior disponibilização ocorreu também para o tratamento com K-Braquiária 120, por conta do maior valor para a constante  $kA$  e menor tempo de meia-vida. Apesar disso, a porcentagem de liberação do material mais facilmente decomponível é maior para o tratamento sem aplicação de K antecipado.



**Figura 36 – Porcentagem de fósforo remanescente (%) (A) e liberação de fósforo (kg ha<sup>-1</sup>) (B) da palhada de braquiária em função da aplicação de doses de potássio (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a braquiária e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

A liberação do P também foi influenciada pela interação entre doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária) e pelos dias após a deposição ( $P=0,0000$ ; Figura 36B). O P foi liberado em maiores quantidades pela palhada de braquiária que não recebeu K durante seu desenvolvimento. Esse comportamento ocorreu para as coletas de 15, 30, 60 e 120 dias após a deposição. Observa-se para ambos tratamentos de K-Braquiária que a liberação do nutriente ocorre em grandes quantidades de forma rápida, seguido de momento de estabilização a partir da coleta de 15 dias após a deposição.

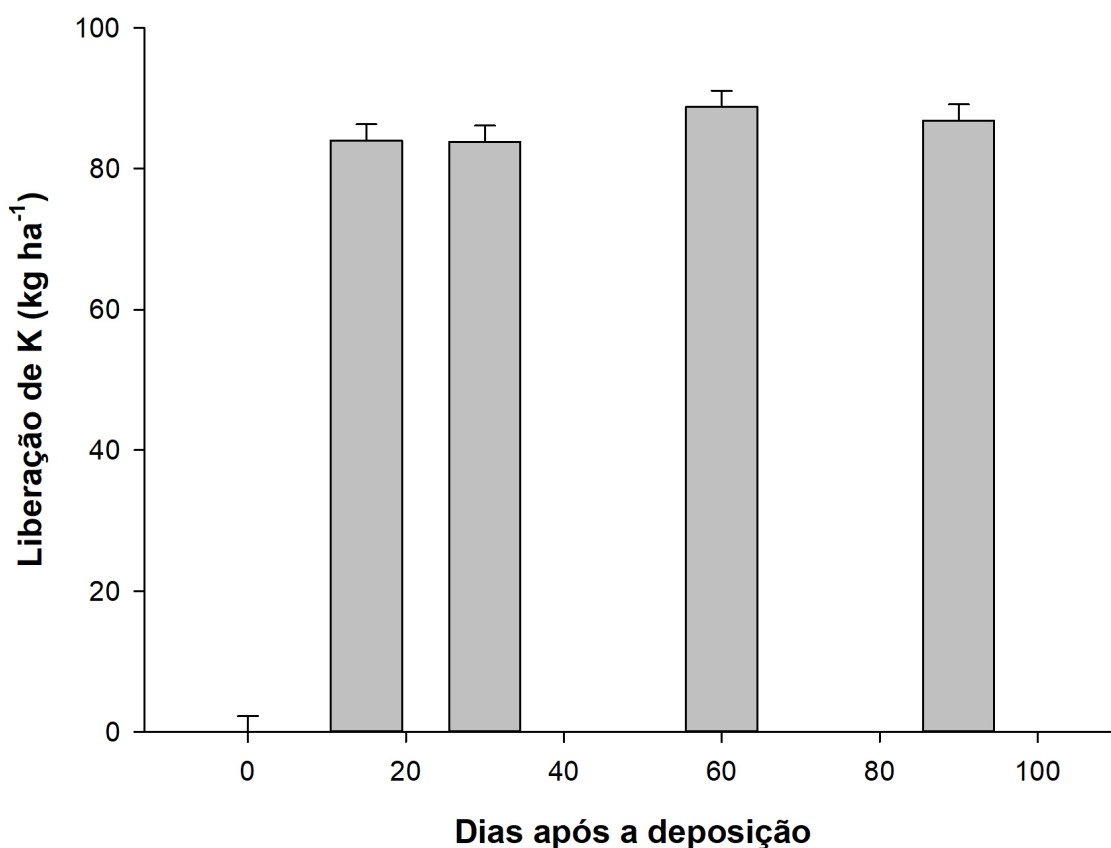
A porcentagem de K remanescente na palhada da braquiária foi influenciada pelas doses de K aplicadas sobre a braquiária (K-Braquiária), doses aplicadas sobre a soja (K-Soja) e pelos dias após a deposição ( $P=0,0356$ ; Figura 37 A; Figura 37B). Para demonstração dos resultados, optou-se pelo desmembramento da interação tripla, sendo analisado o comportamento da variável K-Soja em função de tempo dentro da mesma dose de K aplicado na braquiária (K-Braquiária 0 e 120).



**Figura 37 – Porcentagem de potássio remanescente (%) (A e B) na palhada de braquiária para tratamentos com e sem a aplicação de potássio (K-Braquiária 0 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e K-Braquiária 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) em função da aplicação de doses de potássio (0, 30, 60 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) na cobertura da soja e de coletas realizadas após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

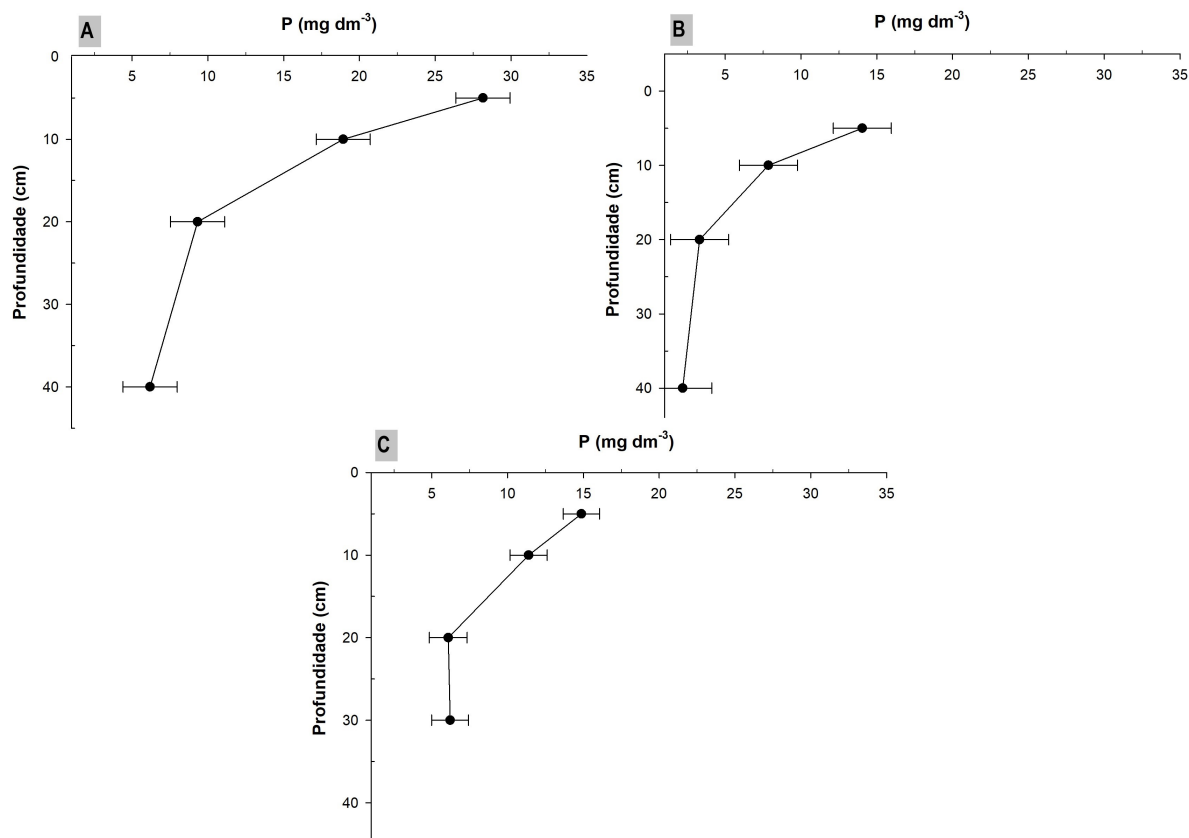
A porcentagem de K remanescente apresentou comportamento de queda, principalmente entre a primeira e a segunda coleta (0 e 15) para ambos tratamentos de K-Braquiária. A partir da coleta realizada aos 15 dias, houve estabilização da porcentagem remanescente no material. Enfatiza-se que o tratamento K-Braquiária 120 teve porcentagens remanescente um pouco maiores (superiores a 20%), enquanto o K-Braquiária 0 apresentou valores menores. Mesmo assim, ressalta-se o fato de que as porcentagens decaíram a valores próximos de 20% em menos de 15 dias. Em relação às doses para o fator K-Soja, existem poucas diferenças entre as curvas, destacando-se o tratamento K-Soja 120 no local que não recebeu K na braquiária, como diminuição da quantidade remanescente muito rápida.

No caso da liberação do K, houve influência apenas do fator tempo dado em dias após a deposição do material no campo ( $P=0,000$ ; Figura 38). Houve aumento na quantidade liberada já na coleta de 15 dias após a deposição, apresentando valores similares nas coletas da sequência, chegando a valores de 86,8 kg ha<sup>-1</sup> aos 90 dias após a deposição.



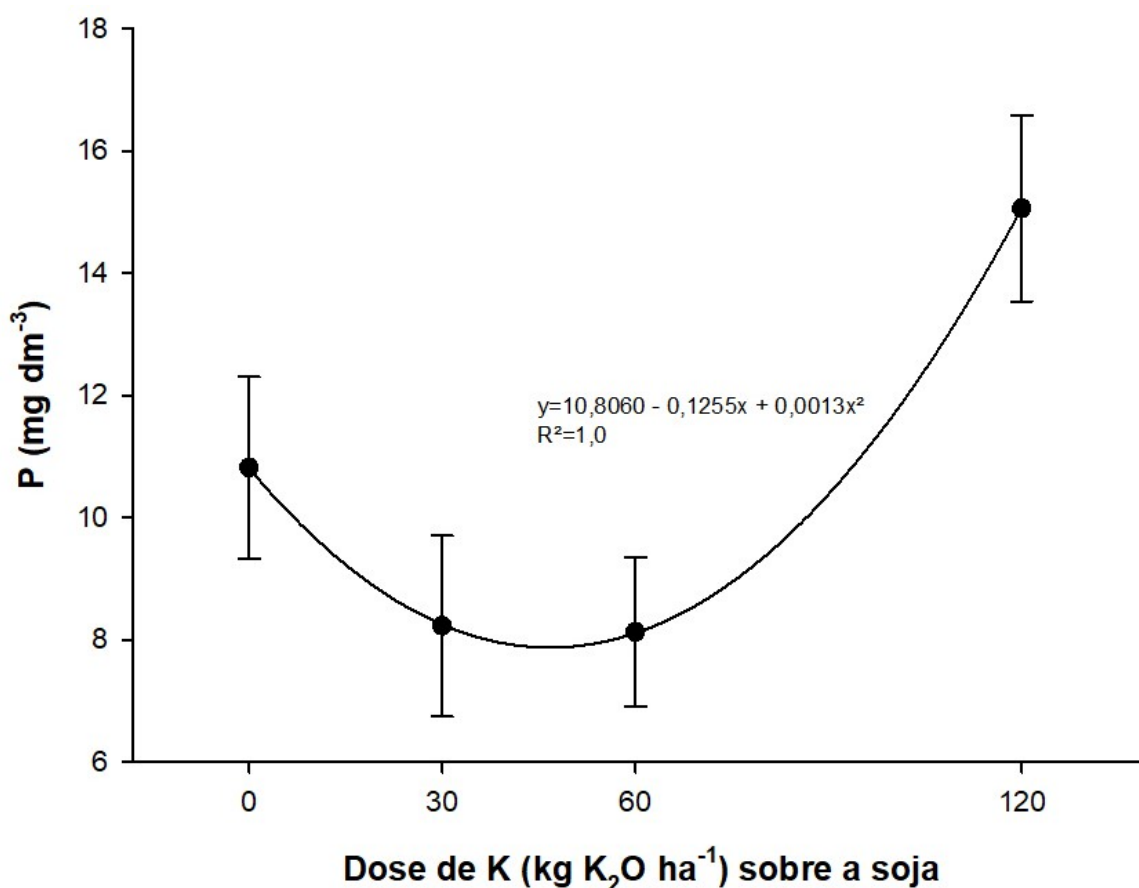
**Figura 38 – Liberação de potássio (kg ha<sup>-1</sup>) da palhada de braquiária em função e coletas realizadas em dias após a semeadura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

Para as coletas de solo realizadas no experimento, os teores de P encontrados no solo foram influenciados apenas pela profundidade de coleta, tanto na coleta antes do estabelecimento do tratamento K-Braquiária, após a aplicação de K sobre a braquiária e após a aplicação de potássio sobre a soja ( $P=0,000$ , Figura 39A;  $P=0,0009$ , Figura 39B;  $P=0,00011$ , Figura 39C). A quantidade de P no solo apresentou diminuição com o aumento da profundidade de coleta em todos os casos os casos estudados. Os maiores teores de P foram encontrados na camada de 0 a 5 cm de profundidade de solo, sendo de 28,14, 14,03 e 15,1 mg dm<sup>-3</sup> para a coleta antes de aplicação de K sobre a braquiária, após a aplicação de K sobre a braquiária e após a aplicação de K sobre a soja, respectivamente. Em todos os casos, profundidades maiores que 20 cm mostraram valores abaixo de 10 mg dm<sup>-3</sup> de P.



**Figura 39 – Teor de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo anterior a aplicação de potássio sobre a braquiária (A), após a aplicação de potássio sobre a braquiária (B) e após a aplicação de potássio sobre a cultura da soja (C), em função da profundidade de solo (cm). UTFPR, Pato Branco, 2022.**

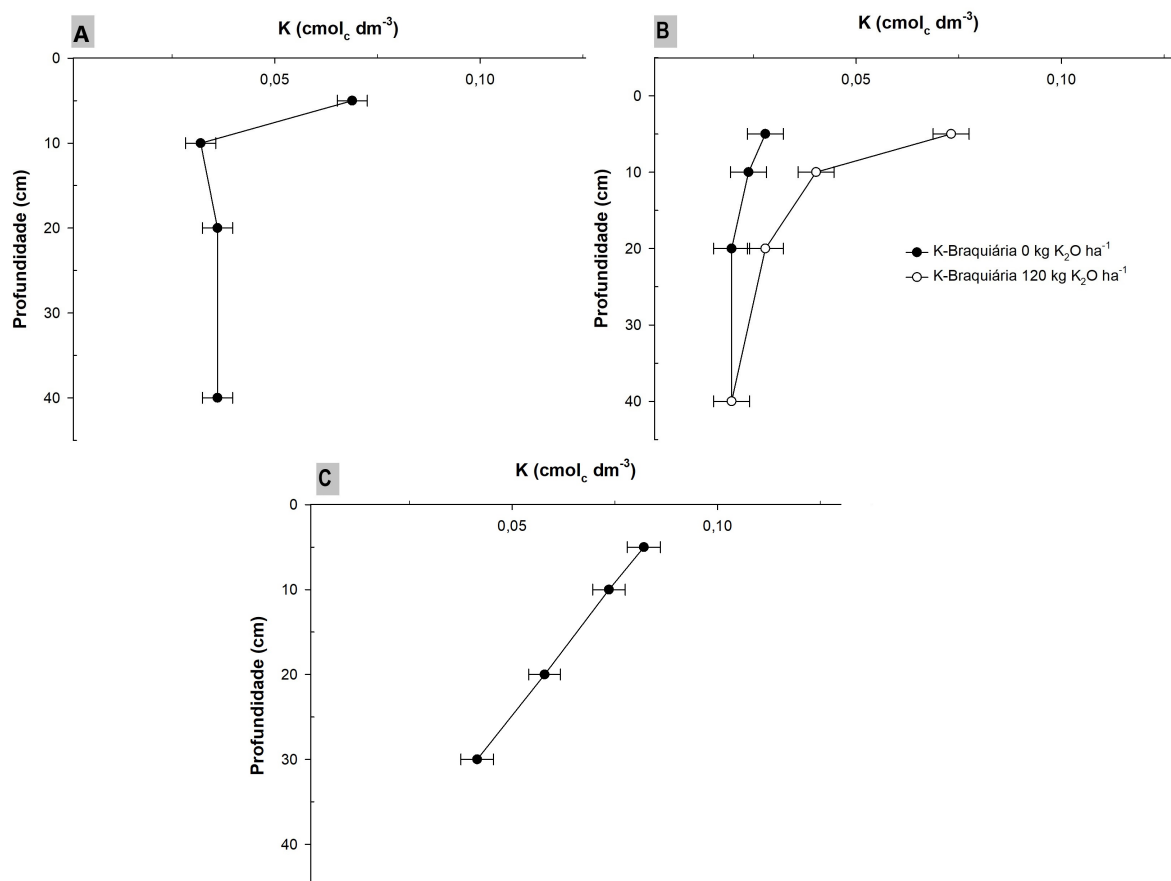
A quantidade de fósforo no solo para a coleta realizada após a aplicação de K sobre a soja também foi influenciada pelas doses utilizadas na cobertura (K-Soja) ( $P=0,0095$ ; Figura 40). A maior quantidade ( $15,05 \text{ mg dm}^{-3}$ ) foi encontrada para o tratamento que recebeu a maior quantidade de K ( $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ). As doses de 0, 30 e 60 mostraram valores similares de 10,81, 8,22 e  $8,12 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente.



**Figura 40 – Teor de fósforo (mg dm<sup>-3</sup>) no solo após a aplicação de diferentes doses de K (0, 30, 60 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a cultura da soja. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

No caso dos valores de potássio no solo, para a coleta de solo inicial, anterior a adubação potássica da braquiária, houve influência das profundidades de coleta sobre o teor de K no solo ( $P=0,000$ ; Figura 41A). A maior quantidade de K foi observada para a profundidade de 0 a 5 cm (0,069 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Em camadas mais profundas do solo, as quantidades foram similares entre si, com média de 0,035 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.





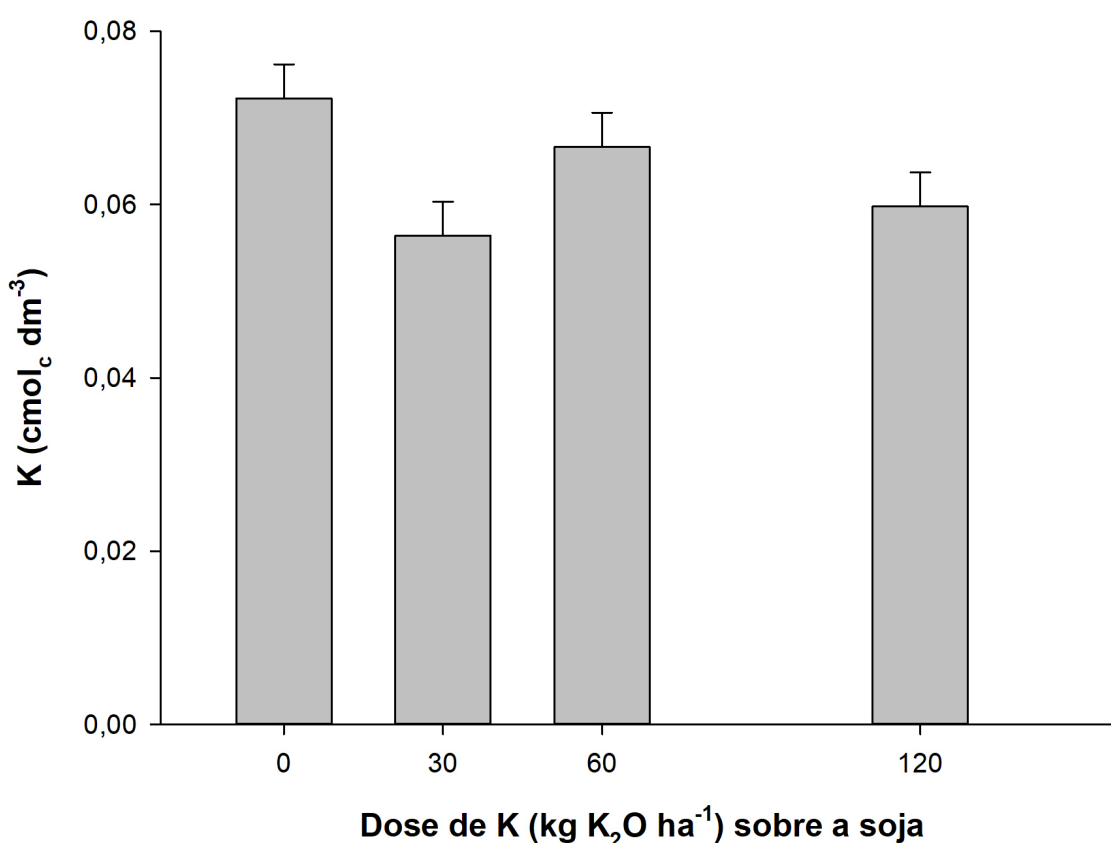
**Figura 41 – Teor de potássio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no solo anterior a aplicação de potássio sobre a braquiária (A), após a aplicação de potássio sobre a braquiária (B) e após a aplicação de potássio sobre a cultura da soja (C), em função da profundidade de solo (cm) e doses de potássio (0 e 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) sobre a braquiária. UTFPR, Pato Branco, 2022.**

Para a coleta realizada após a aplicação de K sobre a braquiária, o teor de potássio no solo sofreu influência das doses de K aplicadas sobre a braquiária e da profundidade de coleta de solo ( $P=0,0012$ ; Figura 41B). Foram encontradas maiores quantidades de K no solo para o tratamento K-Braquiária 120, principalmente nas camadas mais superficiais (de 0 a 5 e 5 a 10 cm; 0,073 e 0,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente). Houve diminuição dos valores de K no solo até a profundidade de 40 cm (0,019 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). A partir da profundidade de 20 cm os valores de K foram similares para ambos tratamentos de aplicação de K na braquiária ou na soja. No tratamento K-Braquiária 0 os valores foram semelhantes em todas as profundidades avaliadas (média de 0,022 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Na coleta realizada após a adubação de K na soja, a quantidade de K no solo também foi influenciada pela profundidade em que o solo foi coletado ( $P=0,000$ ; Figura 41C). As maiores quantidades de K foram encontradas também para camadas

mais superficiais (0 a 5 e 5 a 10 cm), com valores de 0,082 e 0,073  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . O menor valor ocorreu na profundidade de 20 a 30 cm (0,041  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

As quantidades de K no solo na coleta realizada após adubação na soja também foi afetada de forma individual pelo fator aplicação de K sobre a braquiária ( $P=0,000$ ) e de doses aplicadas sobre a soja ( $P=0,0267$ ; Figura 42). A aplicação de 120  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-3}$  sobre a braquiária favoreceu o aumento da quantidade de K no solo, apresentando média de 0,075  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . O tratamento K-Braquiária 0 mostrou valores médios de 0,052  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . No caso das doses de K aplicadas sobre a soja (K-Soja) 42, não houve aumento das quantidades no solo conforme o aumento das doses, com média de 0,064  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .



**Figura 42 – Teor de K no solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) após a aplicação de K na cobertura da cultura da soja em função de diferentes doses (0, 30, 60 e 120  $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ). UTFPR, Pato Branco, 2022.**

#### 5.4 Discussão

A dinâmica do K é grandemente afetada, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Isso porque um dos grandes problemas enfrentados na aplicação

de K em solos arenosos ou com baixos teores de matéria orgânica está na perda do nutriente através da lixiviação (CRUZ *et al.*, 2014). Essas perdas são muito dependentes da dose utilizada, tipo de solo, extração das culturas e a precipitação (ROSOLEM; STEINER, 2017), podendo levar à lixiviação do nutriente no perfil do solo. Além da possibilidade de lixiviação, problemas relacionados à salinização do solo pelas doses de KCl aplicadas (FARIAS *et al.*, 2018), amassamento de plantas pela não compatibilidade no tamanho de maquinários para aplicação e uma curta janela para o plantio da soja fazem com que haja a necessidade de novos manejos para o K. Uma possibilidade de maior aproveitamento desse nutriente dentro do sistema está na realização da antecipação de sua aplicação em local com cobertura de solo.

A produtividade de grãos de soja encontrada para o experimento se apresentou elevada para as condições de estudo. O maior valor obtido de produtividade ocorreu para o tratamento com aplicação de 120 kg K ha<sup>-1</sup> somente sobre a braquiária respondeu com valor pouco acima da média brasileira de soja no ano de 2021 (3517 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2019). Para o estado do Mato Grosso do Sul, a produtividade média de soja na safra 2019/2020 foi de 3342 kg ha<sup>-1</sup> (FAMASUL, 2020). Com esses valores é possível constatar que a produtividade de grãos tampouco foi afetada pelo manejo aplicado no experimento. Nesse caso, a aplicação antecipada de potássio no sistema de produção possivelmente não tenha causado problemas na nutrição das plantas de soja. A não resposta ao aumento das doses de K sobre a soja também demonstra que a demanda da cultura possivelmente já havia sido atendida, visto que não houve efeito de doses crescentes sobre a produtividade de grãos. Como isso, o manejo antecipado do K sobre a braquiária pode ser realizado como uma estratégia dentro das propriedades sem prejuízo a cultura de grãos.

A utilização de cobertura do solo em locais de solo com baixos teores de argila, como no presente estudo, tem fundamental importância no manejo de nutrientes no sistema produtivo. Ryschawy *et al.* (2017) comentam que a utilização de plantas perenes dentro dos sistemas de produção apresentam grande relevância porque propiciam aumento no teor de matéria orgânica do solo, auxiliando também na ciclagem de nutrientes, diminuindo perdas de água e melhorando as propriedades do solo. As braquiárias, em particular, também apresentam alto potencial de produção de matéria seca (BALBINOT *et al.*, 2017), culminando nos benefícios citados. Para Franchini *et al.* (2016) as altas produções de soja em solos arenosos são possíveis através da utilização da sucessão braquiária-soja. Isso porque a braquiária cultivada anteriormente possibilita um desenvolvimento mais rápido das raízes da soja, além de menores danos por falta de água.

Para Balbinot *et al.* (2017) as raízes de braquiária apresentam grande papel sobre a produtividade de grãos da soja. Para esses autores, as contribuições

estão relacionadas à maior taxa de infiltração de água no solo, além de melhoras sobre a parte biológica do solo e liberação de nutrientes. Os benefícios também estão atrelados a formação de novos poros no solo, contribuindo para a formação das raízes da soja, mas também em relação à própria área de exploração das raízes da braquiária (BAPTISTELLA *et al.*, 2020). O tamanho das raízes das braquiárias fazem com que haja possibilidade de absorção de nutrientes em camadas mais profundas do solo e que normalmente as culturas de grãos não teriam acesso. Em trabalho desenvolvido por Galdos *et al.* (2020), por exemplo, a *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis* apresentaram comprimento de raízes variando entre 4 e 5 m, o que mostra a sua capacidade de exploração em locais mais profundos do solo.

A própria produção de matéria seca das braquiárias também é uma das características favoráveis em relação a sua utilização nos sistemas produtivos. A grande produção de matéria seca foi relatada, por exemplo, por Machado *et al.* (2017) ao observar uma produção média de 6.777,6 kg MS ha<sup>-1</sup> de *Urochloa brizantha* conduzida sob diferentes níveis de N no estado de Minas Gerais. Rossi *et al.* (2013) também verificaram uma produção de 6.000 kg MS ha<sup>-1</sup> de *Urochloa ruziziensis* no estado de Goiás. Essas produções foram similares ao encontrado no presente trabalho, o que demonstra que a produção da braquiária nesse sistema apresentou bons resultados, mesmo sem adubação potássica. Claramente a área em que foi realizada a aplicação de K rendeu uma produção superior de matéria seca, o que possivelmente tenha influenciado também a produtividade de grãos de soja. Morais *et al.* (2016), por exemplo, ao trabalhar com plantas de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã observaram efeito positivo sobre a produção de matéria em relação do aumento das doses de K. Segundo os autores, essa maior produção está atrelada aos efeitos de interação com o N, melhorando a eficiência de suas funções.

Acompanhada do grande potencial de produção de matéria seca, as espécies de braquiárias também tem papel fundamental referente à manutenção da palhada sobre o solo, aumento no teor de matéria orgânica do solo e também na disponibilização de K através da ciclagem de nutrientes (VILELA; BARCELLOS; SOUSA, 2003). Esses efeitos podem ser observados por Cruz *et al.* (2014) ao trabalharem com *Urochloa brizantha* cv. Marandu identificaram benefício da cobertura de solo sobre o cultivo de milho, onde a produtividade de grãos foi de 9842 kg ha<sup>-1</sup>, superior ao tratamento sem cobertura. Porém, esses benefícios são dependentes da própria quantidade de resíduos sobre o solo, mas também da composição do material residual (TORRES; PEREIRA, 2008) e da dinâmica de liberação do nutriente.

A composição química da palhada em relação à C e N, como também sua composição bromatológica podem alterar a velocidade de decomposição do material e a disponibilização de nutrientes. Materiais que se apresentam mais lignificados ou

com maior relação C/N têm maior dificuldade de serem decompostos, desse modo expressando uma velocidade superior de decomposição (CEBALLOS *et al.*, 2018). Para braquiárias, essas características podem estar atreladas a própria adubação e o crescimento/produção das plantas. Machado *et al.* (2017) ao estudar o efeito da adubação nitrogenada sobre *U. brizantha* e *U. ruziziensis* observaram que com o aumento das doses de N fez com que a planta crescesse mais em detrimento a deposição de fibra (FARIAS *et al.*, 2018). Esperava-se que situação similar ao citado ocorresse no presente experimento, considerando a forte relação existente de absorção entre N e K (MORAIS *et al.*, 2016). Porém, as quantidades de N foram superiores para o tratamento sem a aplicação de K sobre a braquiária, algo que pode ser atrelado ao efeito de diluição dos nutrientes na matéria seca que foi menor para esse tratamento.

A interferência da temperatura e pluviosidade sobre o processo de decomposição também é muito grande. Ambientes que apresentam temperaturas mais amenas e que são mais secos têm a velocidade de decomposição dos resíduos diminuída (CAVALLI *et al.*, 2018). No caso do presente trabalho, é possível perceber que após a deposição do material sobre o solo (acompanhado da semeadura da soja) houve aumento da pluviosidade (195 mm no mês de novembro) e da temperatura (média de 26°C no mês de novembro) no local. Essas duas situações favorecem uma rápida decomposição do material, justificando os baixos valores de meia-vida para a matéria-seca. Ainda, é importante frisar que esse valores de decomposição foram altamente influenciados pelo fato de que os *litter-bags* foram levados à campo 30 dias após a sua coleta.

Diniz *et al.* (2019), por exemplo, ao estudarem a dinâmica de decomposição da matéria seca de *U. ruziziensis* no Mato Grosso do Sul verificaram um tempo média de meia-vida de 86 dias para matéria seca. Wenneck *et al.* (2021) também trabalhando com *U. ruziziensis* encontrou valores médios de 76 dias para a meia-vida da matéria seca no município de Campo Mourão-PR. Alovisi *et al.* (2021) trabalhando com *U. brizantha* encontraram uma meia-vida de 114 dias para a matéria seca de plantas cultivadas no Mato Grosso. A partir disso, percebe-se que as condições climáticas são fundamentais para a dinâmica de decomposição e que essas tenham interferido no resultado de rápida decomposição neste trabalho.

A velocidade de decomposição da palhada está relacionada à sua persistência sobre o solo. Quanto mais tempo essa palhada persistir sobre o solo, maior é o tempo com o solo coberto, proporcionando os benefícios, principalmente, de proteção física (PARIZ *et al.*, 2011). As braquiárias, além de proporcionarem grande aporte de matéria seca sobre o solo, também apresentam boa persistência do material sobre o solo (CUNHA *et al.*, 2015). Ao final, as quantidades disponíveis de cobertura do solo são suficientes para proporcionar os benefícios da mesma. Ainda que no presente trabalho a decomposição do material tenha ocorrido de forma muito rápida, a quanti-

dade remanescente aos 120 dias após a deposição, por exemplo, mostram que ainda remanesceram em média 2.299 kg MS ha<sup>-1</sup>.

Mas além da decomposição da matéria seca, lembra-se que a liberação de nutrientes pela palhada é fundamental. Para o Sistema de Plantio Direto a palhada tem função de reservatório de nutrientes. Amado (2000) comenta que o sincronismo entre a liberação de nutrientes e a absorção das culturas é fundamental para a redução de perda de nutrientes. Por conta de sua alta produção de matéria seca, a braquiária é capaz de absorver e estocar nutrientes em seus tecidos, tornando-se um grande depósito de nutrientes. O alto potencial de exploração de área de solo faz com que a braquiária seja capaz de retirar nutrientes de camadas mais profundas (CRUSCIOL *et al.*, 2015), levando-os para superfície (ROSOLEM; VICENTINI; STEINER, 2012) e repassando para outras culturas.

No caso do N, as quantidades absorvidas pela braquiária nos tratamentos devem ser destacadas, mostrando o potencial de ciclagem da planta. Canisares *et al.* (2021) encontraram valores médios 93 kg N ha<sup>-1</sup> acumulados na palhada de *U. brizantha* e com potencial de liberação para a cultura posterior, corroborando com o observado nesse trabalho. Por conta disso, é grande o potencial das braquiárias na absorção de N, por conta do próprio requerimento da planta, como também sua eficiência sobre a ciclagem de nutrientes (MOMESSO *et al.*, 2021).

No caso da liberação de N pela palhada da braquiária, a mesma ocorreu mais intensamente até os 30 dias após a deposição, com liberações chegando a patamares de 26 e 13 kg N ha<sup>-1</sup> (para os tratamentos K-Braquiária 0 e 120 kg K ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Nesse caso, considerando que tais valores foram obtidos com menos de 50% da porcentagem de N remanescente, ou seja, com potencial ainda maior de liberação, algo importante nos sistemas de produção. A exemplo disso, Nascente, Crusciol e Stone (2014) encontraram liberações de N também intensas nos primeiros dias após a deposição dos resíduos de *U. brizantha*, com tempo de meia-vida do N de 53 dias. Ainda, Torres *et al.* (2005) destacou o uso da braquiária como cobertura de solo, com a capacidade de disponibilizar 40,8% (77,4 kg N ha<sup>-1</sup>) do N acumulado aos 42 dias após a deposição do material.

Características do próprio material, fatores climáticas e os organismos envolvidos no processo de degradação do material residual podem afetar diretamente sobre a disponibilização de nutrientes. Momesso *et al.* (2021) relata que decomposições mais lentas de *U. brizantha* podem ser explicadas pela própria alta relação C/N do material cultivado. Lembra-se que essa composição do material pode levar à imobilização temporária de N pelos microrganismos (CALONEGO *et al.*, 2012). Esse fato pode ser observado no presente trabalho, visto que os valores de N no material residual aumentaram a partir dos 30 dias, o que não era esperado. Possivelmente os valores de

relação C/N da braquiária eram altos, levando à imobilização (ROSOLEM; STEINER, 2017) de N do solo, resultando no aumento de N retido na palhada. A permanência do N do solo na palhada pode auxiliar no manejo do nutriente, visto que as perdas serão menores por conta da disponibilização lenta do nutriente.

A própria quantidade de microrganismos presente no local para decompor o material também pode ter afetado na imobilização. Considerando que a quantidade de palhada era superior no tratamento com aplicação de  $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  na braquiária, é possível que a quantidade de microrganismos no local também. Por fim, a maior quantidade de microrganismos, em sua totalidade, pode ter imobilizado mais N, aumentando os valores do material residual. Cheng *et al.* (2017) comenta que resíduos culturais podem demandar maior quantidade de organismos para a sua decomposição e, por fim, demandar maiores quantidades de N, o que podem aumentar a imobilização do nutriente.

Considerando as altas quantidades de P que foram repassadas pela palhada ao solo nos primeiros 15 dias de avaliação. Esse fato está relacionado à forma em que o P está presente no tecido das plantas. Em sua maioria, o mesmo se apresenta de forma mineral dentro do vacúolo (MARCHNER, 1997), sendo assim dependendo apenas do rompimento das células para que seja liberado (GIACOMINI *et al.*, 2003). Esse alto potencial de disponibilização de P pela palhada da braquiária, com valores de  $54,56 \text{ kg P ha}^{-1}$  podem permitir que haja fornecimento do que é requerido pela planta através da palhada. Segundo Pavinato *et al.* (2017) a absorção de P para a produção de 1 t de grãos de soja é de 6,1 kg, logo a necessidade para o presente estudo seria em média de 18,08 kg, ou seja, quantidade contida no material residual. Ainda que haja um alto potencial de atendimento das necessidades de P das plantas de soja, também há a necessidade de se considerar a dinâmica de liberação do nutriente pela palhada em relação à absorção da planta cultivada em sequência.

A disponibilização de P encontrada neste trabalho foi mais rápida do que o encontrado na literatura. Trabalho desenvolvido por Torres e Pereira (2008), por exemplo, com braquiária mostrou uma meia-vida para o fósforo na palhada de 117 dias, valor muito superior aos verificados no presente estudo. Ainda, Miguel *et al.* (2018) estudando diferentes coberturas de solo encontraram uma meia-vida de 41 e 26 dias para o P para *U. ruziziensis*. Já Costa *et al.* (2016) encontraram meia-vida de 20 dias para o P na palhada de *U. brizantha*. Possivelmente esses valores estejam relacionados às condições climáticas encontradas durante a condução do experimento. Após o momento da deposição dos *litter-bags* a campo houve aumento na pluviosidade (79 mm), além da ocorrência de altas temperaturas (média de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ), o que promove uma maior velocidade de decomposição dos materiais. Situação semelhante foi relatada por Mendonça *et al.* (2015), em que durante a implantação dos *litter-bags* houve uma

média de pluviosidade de 213 mm, interferindo nas quantidades de P que retornaram ao solo.

Destaca-se que além da alta velocidade de decomposição, as quantidades de fósforo disponibilizadas foram altas (30,1 e 18,78 kg de P ha<sup>-1</sup> para áreas com sem a aplicação e com aplicação de 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na braquiária, respectivamente). [Bernardes et al. \(2010\)](#) ao estudarem a decomposição de *U. brizantha* encontraram uma liberação de 18,6 kg de P ha<sup>-1</sup>, representando 49% do total acumulado. Considerando que a liberação do P através dos restos culturais pode ser uma importante forma de manter, estocar ou aumentar o P disponível para a absorção das plantas ([EGEWARTH et al., 2021](#)), é possível observar o potencial de utilização da planta no sistema de produção considerando a ciclagem de nutrientes.

A interferência da aplicação de K sobre a dinâmica do P pode estar atrelada à quantidade de matéria seca produzida, como a qualidade do material. Aplicação de 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> na braquiária pode ter levado a melhor nutrição das plantas e dessa forma a maior produção de matéria seca, como já comentado. Por conta disso, provavelmente a demanda por P pelos microrganismos do solo foi superior, levando a imobilização microbológica. [Rheinheimer et al. \(2008\)](#) cita que a imobilização de P pelos microrganismos pode ser considerada como benéfica, visto que atrasa a fixação de P no solo. Além disso, a retenção temporária do elemento pode diminuir problemas de perda do perfil do solo, considerando que remanesceram 45,4 e 69,2 kg de P ha<sup>-1</sup> para K-Braquiária 0 e 120, respectivamente.

O conteúdo de K na palhada da braquiária também representa o alto potencial que a planta tem de reciclar nutrientes. Ao realizar ou não a antecipação do K no sistema, constatou-se quantidades similares acumuladas e disponibilizadas. Sabe-se que a capacidade de exploração das raízes das braquiárias é um diferencial dessas plantas ([GALDOS et al., 2020](#)), podendo fazer com que o acúmulo de K fosse alto mesmo sem a adubação potássica. Esse grande acúmulo de K pode ser observado também em trabalho de [Guerra et al. \(2019\)](#) com *U. brizantha*, com 103 kg K ha<sup>-1</sup>. [Cavalli et al. \(2018\)](#) também encontraram valores altos para K, com média de 172,1 kg K ha<sup>-1</sup> de concentração inicial para *U. ruzizensis*.

As liberações de K pela palhada da braquiária também merecem destaque. Em específico para o K, por não ser constituinte de nenhum dos componentes estruturais da planta, a meia-vida do nutriente na palhada é muito pequena ([CAVALLI et al., 2018](#)), porém sendo importante para a cultura subsequente. Assim, como ocorrido com o P, as grandes quantidades de chuva ocorridas após a deposição dos *litter-bags* a campo e a condição dos mesmos podem ter auxiliado na lixiviação do K da palhada, resultando em meia-vida menor. [Costa et al. \(2016\)](#), por exemplo, encontraram um meia-vida de 16 dias para o K em *U. brizantha*, indicando que é comum que a liberação



desse nutriente nos primeiros dias de avaliação. Ainda, [Cavalli et al. \(2018\)](#) também encontraram uma meia-vida de 16 dias para o K ao trabalharem com *U. ruziziensis*. Para o presente trabalho, esses valores foram ainda menores (média de 3,2 dias). Entretanto, é importante ressaltar que essa variável é muito dependente das condições climáticas decorridas durante o período experimental, como também do próprio material avaliado ([SANTOS et al., 2014](#)), ocorrendo dinâmicas diferentes para cada situação.

Ao se comparar a quantidade remanescente de K entre os tratamentos de aplicação potássica na braquiária, a maior retenção do nutriente para o tratamento com aplicação de K na braquiária. Essa situação pode ser visualizada através dos parâmetros da equação onde os valores para o compartimento A e de  $k_A$  foram em sua maioria menores que os do tratamento K-Braquiária 0. Essa situação pode ser advinda da quantidade de N no material, ou seja, a relação C/N. Considerando que a quantidade de N nos tecidos foi menor para esse tratamento, é possível que exista uma maior quantidade de celulose na parede celular das plantas, o que pode dificultar a liberação do K em relação ao outro tratamento. [Soest \(1994\)](#) cita que o N nas plantas causa aumento nos teores de aminoácidos e proteínas, por outro lado há a diluição da parede celular, corroborando com o exposto acima.

Apesar dessa variação no conteúdo remanescente entre os tratamentos, lembra-se que as quantidades liberadas foram semelhantes, sendo que aos 15 dias já atingiram  $84,02 \text{ kg K ha}^{-1}$  (em média 78,5% do conteúdo inicial). Essa alta quantidade liberada de K pode ser melhor contemplada quando se observam outros resultados. Resultados encontrados por [Dias et al. \(2020\)](#) para *U. brizantha* mostram que aos 30 dias já havia liberação de 45,1% do K, correspondendo a aproximadamente  $25,79 \text{ kg K ha}^{-1}$ . [Mendonça et al. \(2015\)](#) encontraram liberação média de  $101 \text{ kg K ha}^{-1}$  pela palhada de *U. brizantha*, com disponibilização de praticamente 100% do nutriente. Considerando os dados obtidos nesse trabalho, para atingir a demanda de produção média de grãos de soja seriam necessários  $89,23 \text{ kg K ha}^{-1}$  ([PAVINATO et al., 2017](#)). Como a liberação do nutriente foi em média de  $81,6 \text{ kg K ha}^{-1}$ , seria possível suprir a demanda da planta ou parte dela através da ciclagem de K pela palhada.

Ainda que o material residual tenha sua importância como reservatório de nutrientes, a relação que a mesma tem com o solo também tem grande importância sobre a dinâmica dos elementos no sistema produtivo. Como esperado, as quantidades de P e K em camadas superficiais do solo foram superiores. [Arruda et al. \(2021\)](#) trabalhando com diversas coberturas de solo, entre elas a *U. ruziziensis*, encontraram aumentos nos teores de P principalmente na camada de solo de 0 a 5 cm de profundidade. [Mendes et al. \(2017\)](#) também estudando o efeito de diferentes plantas de cobertura sobre as características do solo constataram que os maiores teores foram encontrados na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Segundo os autores, essas quan-

tidades são uma característica do próprio SPD pelo acúmulo de palhada na superfície do solo e a capacidade de absorção de nutrientes de camadas mais profundas.

Especificamente para o P, que apresentou maiores teores no solo para a dose de 120 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$  aplicada na soja, existem várias influências sobre a sua disponibilidade. Nesse caso, é possível que a aplicação de potássio nessa fase tenha favorecido o maior crescimento das raízes da soja. Sabe-se que na região da rizosfera podem haver modificações no solo, principalmente condicionadas pelos microrganismos e pelos exsudatos das plantas. Um dessas alterações está no pH, que geralmente se apresenta mais baixo do que no solo não rizosférico (FAGERIA; STONES, 2006). Esse aumento na concentração de  $H^+$  pode atuar sobre o P, havendo aumento de sua disponibilidade no solo (HENINTSOA *et al.*, 2017). Ainda, a própria decomposição das raízes no solo, conforme o volume e massa de raízes, pode contribuir para esse processo e aumento dos teores de P no solo.

O K no solo, como esperado, apresentou aumentos no solo quando houve a aplicação sobre braquiária. Ainda que haja esse aumento, enfatiza-se que o mesmo ocorre de forma mais superficial, ou seja, evidenciando a não ocorrência de lixiviação do nutriente no solo. Bernardi *et al.* (2009) afirma que a aplicação de mais de 80 kg K  $ha^{-1}$  sobre a cultura da soja em solos arenosos deve ser evitada, por conta de problemas relacionados à salinidade e possibilidade de lixiviação do nutriente. Assim, deve-se lançar mão de estratégias como a antecipação da adubação, como no trabalho em questão. Exemplo disso pode ser visto em trabalho desenvolvido por Foloni e Rosolem (2008) onde foi realizada a antecipação de K entre na sucessão milheto-soja em SPD. Segundo os autores, a quantidade de K pode ser aplicada em sua totalidade sobre a cultura de cobertura, não havendo prejuízos para a produção de grãos de soja.

## 5.5 Conclusões

A antecipação da adubação potássica na dose de 120 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  na rotação braquiária-soja pode ser realizada em sua totalidade sobre a braquiária não havendo prejuízos sobre a produção de grãos de soja.

A aplicação de K sobre a braquiária promoveu maior produção de matéria seca da gramínea, além de alterar a cinética de decomposição da matéria seca e liberação de N, P e K do material residual.

As quantidades liberadas de N, P e K pela palhada da braquiária quando realizada a aplicação de 120 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  foram suficientes para atender a demanda das plantas de soja.

Mesmo com a antecipação da dose de 120 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  não houveram indícios de lixiviação de nutrientes no perfil do solo.

## 6 Conclusões

A realização da adubação de sistemas, em específico para o nitrogênio, pode ser realizada através da antecipação da adubação nitrogenada. Esse manejo do nitrogênio é possível de ser realizado tanto em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária quanto em Sistema de Plantio Direto sem prejuízo da nutrição de N das plantas de milho e milheto. Para tanto, é necessário considerar doses de nitrogênio compatíveis para a nutrição da rotação pastagem-grãos ou plantas de cobertura-grãos.

As antecipações de N sobre a pastagem de azevém propiciaram maiores ganhos de matéria seca e as maiores produtividades de grãos, quando associadas à doses de N em cobertura. A aplicação de 150 kg N ha<sup>-1</sup> sobre palhada de aveia-preta também propiciou maior produção de matéria seca das plantas de milho.

A cobertura de solo utilizada anterior ao cultivo do milheto influencia nos conteúdos de N das plantas. Apesar dessa variação, os níveis ainda não foram suficientes para suprimir a demanda do milheto, necessitando de aporte externo de nitrogênio através das aplicações em cobertura. A aplicação de nitrogênio aos 15 dias após a emergência apresentou os melhores resultados de produção de matéria seca.

A curva de N crítica pode ser considerada como uma ferramenta muito útil na predição do status nutricional de plantas como o milho e o milheto, podendo ser fazer parte do diagnóstico e recomendação de adubação nas propriedades. A veracidade na relação N:P e N:K para milho e milheto também pode ser encarada como uma forma de se conhecer melhor a nutrição das plantas, podendo também contribuir para as recomendações à campo.

A antecipação do potássio na dose de 120 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> para a rotação braquiária-soja sob Sistema de Plantio Direto pode ser realizada em solos arenosos sem prejudicar a produtividade de grãos, inclusive promovendo aumento no rendimento. A braquiária contribui grandemente para a ciclagem de nutrientes do sistema, em média no tratamento com antecipação foram disponibilizados 13,6 kg N ha<sup>-1</sup>, 19,6 kg P ha<sup>-1</sup> e 88,8 kg K ha<sup>-1</sup>. Ainda, não foram constatadas indícios de lixiviação de P e K no solo durante a condução do experimento.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. A.; AAMADO, T. J. C.; SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 44, n. 5, p. 801–809, 2014.
- AGNUSDEI, M. G.; ASSUERO, S. G.; LATTANZI, F. A.; MARINO, M. A. Critical n concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant n status assessment and n deficiency diagnosis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 215–230, 2010.
- ALI, N.; ANJUM, M. M. Effect of different nitrogen rates on growth, yield and quality of maize. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 107–112, 2017.
- ALOVISI, A. A.; ALOVISI, A. M. T.; SOUZA, L. C. F.; PERONDI, L. G.; TOKURA, L. K.; MUGLIA, G. R. P. S.; SOARES R. TOKURA, W. I.; CASSIK, C. K.; KAI, P. M. Persistência da fitomassa de urochloa brizantha em cobertura em função da aplicação de serpentinito. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e55310716821–e55310716821, 2021.
- AMADO, T. J. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. **Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha**, v. 7, p. 105–111, 2000.
- ANDREWS, E. M.; KASSAMA, C.; SMITH, E. E.; BROWN, P. H.; KHALSA, S. D. S. A review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems. **Agriculture**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 7, p. 580, 2021.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P.; ASSMANN, J. M.; ARNUTI, F.; BORIN, J. B. M.; CEGAGNO, D.; DENARDIN, L. G. O.; TIECHER, T.; MORAES, A. Ciclagem de nutrientes. In: **Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4.** [S.l.]: UTFPR, 2017. p. 56–66.
- APOLINÁRIO, V. X. O.; JR, J.C.B. Dubeux; MELLO, A.C.L.; VENDRAMINI, J. M. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; MUI, J. P. Deposition and decomposition of signal grass pasture leaf litter under varying nitrogen fertilizer and stocking rates. **Crop Ecology Physiology**, v. 105, p. 999–1004, 2013.
- ARRUDA, B.; HERRERA, W. F. B.; ROJAS-GARCÍA, J. C.; TURNER, C.; PAVINATO, P. S. Cover crop species and mycorrhizal colonization on soil phosphorus dynamics. **Rhizosphere**, Elsevier, v. 19, p. 100396, 2021.
- ASSMANN, T. S.; BORTOLLI, M. A.; ASSMANN, A. L.; SOARES, A. B.; PITTA, C. S. R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; GLIENKE, C. L.; ASSMANN, J. M. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, ecosystems & environment**, Elsevier, v. 190, p. 37–42, 2014.

ASSMANN, T. S.; JR, P. Ronzelli; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. E. 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, n. 5, p. 675–683, 2003.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; HUF, F. L.; ZORTÉA, T.; ASSMANN, A. L.; MORAES, A.; ALVES, S. J. Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária. In: RONDONÓPOLIS Mato Grosso). Tubarão: Copiarte. **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. [S.l.], 2018. v. 1, p. 123–144.

ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ASSMANN, A. L.; HUF, F. L.; LIMA, R. C. Palestras: intensificação com sustentabilidade. congresso brasileiro de sistemas integrados de produção agropecuária. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Pato Branco, Paraná, UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. cap. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária.

BALBINOT, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASE, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 52, p. 592–598, 2017.

BAPTISTELLA, J. L. C.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Frontiers, v. 4, p. 119, 2020.

BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; AGUIAR, R. A.; MESQUITA, G. M. Decomposição da biomassa e liberação de nutrientes dos capins braquiária e mombaça, em condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, v. 40, n. 3, p. 370–377, 2010.

BERNARDI, A. C. C.; JR, J. P. de Oliveira; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. A.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 2, p. 158-167, abr./jun. 2009, 2009.

BERNARDON, A.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; FRANLUEBBERS; A.; MACCARI, M.; BORTOLLI, M. A. Carryover of n-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 1, p. 1–16, 2020.

BERNARDON, A.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBBERS, A. J.; MACCARI, M.; BORTOLLI, M. A. Carryover of n-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Taylor & Francis, v. 67, n. 5, p. 687–702, 2021.

BONO, J. A. M.; COLLETA, B. K. Della; DORNAS, M. F.; PEREIRA, S. R.; CORRÊA, B. O. Plant cover management and nitrogen fertilization in maize crop in a dystrophic red latosol brazilian cerrado (savannah). **African Journal of Agricultural Research**, Academic Journals, v. 13, n. 22, p. 1148–1153, 2018.

BORTOLLI, M. A. **Adubação de sistemas: antecipação de adubação nitrogenada para a cultura do milho em integração lavoura-pecuária**. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, PR, 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](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf).

BRIAT, J. F.; GOJON, A.; PLASSARD, C.; ROUACHED, H.; LEMAIRE, G. Reappraisal of the central role of soil nutrient availability in nutrient management in light of recent advances in plant nutrition at crop and molecular levels. **European Journal of Agronomy**, v. 116, p. 1–13, 2020.

BUENO, A. V. I.; RIBEIROS, M. G.; JAVOVACI, F. A.; TRÊS, T. T.; LEÃO, G. F. M.; JOBIM, C. C. Valor nutricional e produção de matéria seca digestível de cultivares de aveia visando à produção de silagem. **Ciência Animal Brasileira**, v. 21, 2020.

BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; ZIADI, N. Relationship between p and n concentrations in maize and wheat leaves. **Field Crops Research**, v. 123, n. 1, p. 28–37, 2011.

BÉLANGER, G.; ZIADI, N. Phosphorus and nitrogen relationships during spring growth of an aging timothy sward. **Agronomy journal**, Wiley Online Library, v. 100, n. 6, p. 1757–1762, 2008.

CABEZAS, W. A. R. Lara; ALVEZ, B. J. R.; CABALLERO, S. S. U.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 34, n. 4, p. 1005–1013, 2004.

CABEZAS, W. A. R. Lara; COUTO, P. A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em présemeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 739–752, 2007.

CABEZAS, WAR Lara; TRIVELIN, PCO. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de n-nh3 volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 3, p. 345–352, 1990.

CADOT, S.; BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; MOREL, C.; SINAJ, S. Critical plant and soil phosphorus for wheat, maize, and rapeseed after 44 years of p fertilization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 112, n. 66, p. 417–433, 2018.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 87–95, 2015.

CALOIN, M.; YU, O. Analysis of the time course of change in nitrogen content in dactylis glomerata L. using a model of plant growth. **Annals of Botany**, v. 52, p. 69–46, 1984.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistence and nutrient release from maize, brachiaria and lablab straw. **Bioscience Journal**, Universidade Federal de Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770–781, 2012.

CANALLI, L. B. S.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; MUCHINSKI, A.; FELICIANO, E.; PENTEADO, D. Residues decomposition in crop rotations under no-till system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, SciELO Brasil, v. 63, 2020.

CANISARES, L. P.; ROSOLEM, C. A.; MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; VOLLEGAS, D. M.; ARANGO, J.; RITZ, K.; CANTARELLA, H. Maize-brachiaria intercropping: A strategy to supply recycled n to maize and reduce soil n<sub>2</sub>o emissions? **Agriculture, ecosystems & environment**, Elsevier, v. 319, p. 107491, 2021.

CARPINELLI, S.; FONSECA, A. F.; NETO, P. H. D. Weirich; DIAS, H. B. S.; PONTES, L. S. Spatial and temporal distribution of cattle dung and nutrient cycling in integrated crop-livestock systems. **Agronomy**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 5, p. 672, 2020.

CAVALLI, E.; LANGE, A.; CAVALLI, C.; BEHLING, M. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1–8, 2018.

CEBALLOS, G. A.; FABIAN, A. J.; SILVA, J. C. O.; TORINO, A. B.; BERNARDES, G. F. Production and speed of decomposition of species of soil coverage in direct sowing system. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

CHENG, Y.; WANG, J.; WANG, J.; CHANG, S. X.; WANG, S. The quality and quantity of exogenous organic carbon input control microbial n<sub>3</sub>- immobilization: a meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, Elsevier, v. 115, p. 357–363, 2017.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 33, p. 1161–1164, 2003.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento, Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. [S.l.]: Conab, 2019.

CONAB, CN de A. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. **V**, v. 1, p. 178, 2018.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 77–99, 2005.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NETO, J. Ferrari; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, SciELO Brasil, v. 46, p. 159–168, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 67, p. 481–489, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, Wiley Online Library, v. 107, n. 6, p. 2271–2280, 2015.

CRUZ, S.; MACHADO, C. G.; JÚNIOR, D. G. Sena; CRUZ, S. J. S. Potassium fertilization for corn grown under bread grass straw. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 18, n. 6, p. 603–606, 2014.

CUNHA, T. P. L.; MINGOTTE, F. L. C.; FILHO, A. C. A. Carmeis; CHIAMOLERA, F. M.; LEMOS, L. B.; FILHO, D. Fornasieri. Agronomic performance of common bean in straw mulch systems and topdressing nitrogen rates in no-tillage. **Revista Ceres**, SciELO Brasil, v. 62, p. 489–495, 2015.

DEON, D. S. Manejo do solo para favorecer a manutenção da umidade. **Embrapa Semiárido-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, Cadernos do Semiárido: Riquezas & Oportunidades, v. 11, n. 11, p. 40-41, mai . . . , 2017.

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERINO, E. C.; BILEGO, U. O.; NETO, A. E. Furtini; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; VILELA, L. Brachiaria and panicum maximum in an integrated crop-livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge University Press, v. 158, n. 3, p. 206–217, 2020.

DINIZ, J. F.; OLIVEIRA, J. T.; BORGES, M. C. R. Z.; NOGUEIRA, K. B.; ROQUE, C. G. Decomposição da palhada de urochloa ruziziensis em diferentes sistemas de semeadura e correção do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Revista Engenharia na Agricultura, v. 27, n. 4, p. 370–380, 2019.

DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E. Nutrient cycling in grazed pastures. In: **Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures**. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 59–75.

EGEWARTH, J. F.; PIANO, J. T.; REGO, C. A. R. M.; MATTEI, E.; EGEWARTH, V. A.; OLIVEIRA, P. S. R. Decomposition of oat straw and release of macronutrients in different managements. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 193–201, 2021.

FAGERIA, N. K.; STONES, L. F. Physical, chemical, and biological changes in the rhizosphere and nutrient availability. **Journal of Plant Nutrition**, Taylor & Francis, v. 29, n. 7, p. 1327–1356, 2006.

FAMASUL. Resultados da safra - circular 353/2020. **Campo Grande: Famasul**, n. 98, 2020.

FAO. **FAOSTAT Statistical Database**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTES, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 6, p. 1–9, 2020.

FARIAS, M. F.; BOAS, R. L. V.; RODRIGUES, K. M.; GARRETO, F. G. S.; FURTADO, M. B.; PARRA-SERRANO, L. J.; SOARES, F. A.; MACHADO, N. A. F.; OLIVEIRA, A. R. F.; ANDRADE, H. A. F. Potassium fertilization in soybean and its correlation with electrical conductivity in soil. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 12, p. 336, 2018.

FENG, Y.; BALKCOM, K. S. Nutrient cycling and soil biology in row crop systems under intensive tillage. In: **Soil health and intensification of agroecosystems**. [S.l.]: Elsevier, 2017. p. 231–255.



- FERRAZZA, J. M. **Antecipação da adubação potássica da soja aplicada na pastagem hibernal em sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Paraná, 2016.
- FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciencia e agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 40, p. 369–379, 2016.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, n. 4, p. 1549–1561, 2008.
- FRANCHINI, J. C.; JR, A. A. Balbinot; DEBIASI, H.; COSTA J, M.; SICHIERI, F. R.; TEIXEIRA, L. C. Soja em solos arenosos: papel do sistema plantio direto e da integração lavoura-pecuária. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Londrina: Embrapa Soja, 2016., 2016.
- GAGNON, B.; ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; PARENT, G. Validation and use of critical phosphorus concentration in maize. **European Journal of Agronomy**, v. 120, p. 1–9, 2020.
- GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2020.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LINKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 38, n. 9, p. 1097–1104, 2003.
- GODIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; FONSECA, I. M.; ALVES, A. U. Crescimento inicial do milho cultivar brs 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 706–714, 2016.
- GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1010–1115, 2014.
- GUERRA, G. L.; BECQUER, T.; VENDRAME, P. R. S.; GALBEIRO, S.; BRITO, O. R.; SILVA, L. D. D. F.; MIZUBUTI, I. Y. Nutritional evaluation of brachiaria brizantha cv. marandu cultivated in soils developed from basalt and sandstone in the state of paraná. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 469–484, 2019.
- HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MULLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, v. 3, p. 135–189, 2012.
- HENINTSOA, M.; BECQUER, T.; RABEHARISOA, L.; GERARD, F. Geochemical and microbial controls of the effect of citrate on phosphorus availability in a ferralsol. **Geoderma**, Elsevier, v. 291, p. 33–39, 2017.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO Brasil, v. 31, p. 875–882, 2002.

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1011–1017, 2011.

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SCHIRATSUCHI, L. S.; HIGASHIKAWA, F. S. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1011–1017, 2010.

IBGE. **Censo agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6855#resultado>.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; TARSITANO, M. A. A.; RAPASSI, R. M. A.; VILELA, R. G. Custos e rentabilidade do milho em função do manejo do solo e da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 102–109, 2010.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 37, n. 5, p. 1310–1321, 2013.

KENNEDY, C.; BELL, P.; CALDWELL, D.; HABETZ, B.; RABB, J.; AALISON, M. A. Nitrogen application and critical shoot nitrogen concentration for optimum grain and seed protein yield of pearl millet. **Crop science**, Wiley Online Library, v. 42, n. 6, p. 1966–1973, 2002.

KOEFENDER, J.; SCHOFFEL, A.; MANFIO, C. E.; GOLLE, D. P. Biomassa e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de inverno. **Revista Ceres**, SciELO Brasil, v. 63, p. 816–821, 2016.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. K. S.; RODRIGUES, D. M.; ALBRECHT, L. P.; WOBETO, K. S.; ALBRECHT, A. J. P. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 53, p. 909–917, 2018.

LANG, C. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SULC, R. M.; CARVALHO, P. C. F.; LOPES, E. C. P. Integração lavoura-pecuária: Eficiência de uso do nitrogênio na cultura do milho. **Scientia Agraria**, v. 12, n. 1, p. 53–60, 2011.

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Produtividade de palha e de milho no sistema semeadura direta, em função da época da aplicação do nitrogênio no milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 01, 2009.

LANGE, A.; CAVALLI, E.; CAVALLI, C.; BUCHELT, A. C. Adubação potássica e seu efeito residual no sistema soja-milho safrinha em mato grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 192–205, 2019.

LEAL, A. J. F.; VALDERRAMA, M.; KANEKO, F. H.; LEAL, U. A. S.; PERIN, A.; LUCHESE, K. U. O. Produtividade da soja de acordo com diferentes doses de cloreto de potássio revestido ou não com polímeros. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 19–30, 2015.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. Analysis of the effect of n nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum n content. In: **Proceedings of the 16<sup>th</sup> 523 International Grassland Congress**. Nice, France: [s.n.], 1989. p. 179–180.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. i. étude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v. 4, p. 423–430, 1984.

LEMAIRE, G.; SINCLAIR, T.; BÉLANGER, G. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. a review. v. 39, n. 27, p. 1–13, 2019.

LEVINSKI-HUF, F. **Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. 193 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, PR, 2018.

LI, J.; WNG, K. R.; MING, B.; GUO, Y.; ZHANG, G. Q.; LI, S. K. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. **Revista Ceres**, v. 3, n. 107, p. 829–834, 2015.

LI, W.; HE, P.; JIN, J. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in north-east china. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, p. 1747–1761, 2012.

LIAO, M.; FILLERY, I. R. P.; PALTA, J. A. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. **Functional Plant Biology**, CSIRO Publishing, v. 31, n. 2, p. 121–129, 2004.

LIMA, R. C. Adubação de sistemas: volatilização de amônia em área de integração lavoura-pecuária em experimento de longa duração. 2018.

LIMA, R. C. Dinâmica dos nutrientes em pontos de deposição de urina bovina em sistema de integração lavoura pecuária em dois solos no sul do brasil. 2022.

LIU, X.; HU, G.; HE, H.; LIANG, C.; ZHANG, W.; BAI, Z.; WU, Y.; LIN, G.; ZHANG, X. Linking microbial immobilization of fertilizer nitrogen to in situ turnover of soil microbial residues in an agro-ecosystem. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Elsevier, v. 229, p. 40–47, 2016.

LUNJING, D.; LI, Q.; LI, L.; WU, Y.; ZHOU, F. Construction of a critical nitrogen dilution curve for maize in southwest china. **Scientific Reports**, v. 10, 2020.

MA, B. L.; ZHENG, Z. M.; MORRISON, M. J.; GREGORICH, E. G. Nitrogen and phosphorus nutrition and stoichiometry in the response of maize to various n rates under different rotation systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 104, n. 1, p. 93–105, 2016.

MACCARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura pecuária?** 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, PR, 2016.

MACCARI, M.; ASSMANN, T. S.; BERNARDON, A.; SOARES, A. B.; FRANZLUEBERS, A.; BORTOLLI M. A. AND BORTOLLI, B. B.; GLIENKE, C. L. Relationships between n, p, and k in corn biomass for assessing the carryover effects of winter pasture to corn. **European Journal of Agronomy**, Elsevier, v. 129, p. 126317, 2021.

MACHADO, S. L. M.; SALES, E. C. J.; REIS, S. T.; MESQUITA, V. G.; CARVALHO, Z. G.; MONÇÃO, F. P.; GOMES, E. A. S.; QUEIROZ, D. S. Forage accumulation, tillering and bromatological characteristics of brachiaria grass under nitrogen fertilization. **Científica**, v. 45, n. 2, p. 197–203, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Piracicaba: Associação Brasileira de Potássio e do Fósforo**, v. 2, p. 319, 1997.

MARCHNER, H. Functions of mineral nutrients, macronutrients. **Mineral nutrition of higher plants**, Academic Press, 1997.

MARCILLO, G. S.; MIGUEZ, F. E. Corn yield response to winter cover crops: An updated meta-analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, Soil and Water Conservation Society, v. 72, n. 3, p. 226–239, 2017.

MATEO, M. A.; ROMERO, J. Evaluating seagrass leaf litter decomposition: an experimental comparison between litter-bag and oxygen-uptake methods. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Elsevier, v. 202, n. 2, p. 97–106, 1996.

MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; EGEWARTH, J. F.; REGO, C. A. R. M.; PIANO, J. T.; HERRERA, J. L. Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 6, p. 206–215, 2018.

MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na amazônia. **Revista Caatinga**, SciELO Brasil, v. 28, p. 68–78, 2015.

MENDES, W. C.; ALVES, J.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Lixiviação de potássio em diferentes solos em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 20, p. 972–977, 2016.

MENDES, W. S.; MEDEIROS, J. C.; ROSA, J. Dalla; MAFRA, A. L. Chemical attributes of agricultural soil after the cultivation of cover crops. **Australian Journal of Crop Science**, Southern Cross Publishers Lismore, NSW, v. 11, n. 11, p. 1497–1503, 2017.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; AANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 39, p. 183–193, 2015.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; D., Vieira JR V.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 55–59, 2018.

- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Elsevier, v. 152, p. 85–93, 2015.
- MIGUEL, A. S. D. C.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C.; SOUZA, E. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 53, p. 1119–1131, 2018.
- MIYAZAWA, Mário; PAVAN, Marcos Antonio; BLOCH, MF de M. **Análise química de tecido vegetal**. [S.l.]: Iapar Londrina, 1992. v. 74.
- MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; CANTARELLA, H.; TANAKA, K. S.; KOWALCHUK, G. A.; KURAMAE, E. E. Optimizing cover crop and fertilizer timing for high maize yield and nitrogen cycle control. **Geoderma**, Elsevier, v. 405, p. 115423, 2022.
- MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; VYN, T. J.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; CANTARELLA, H. Impacts of nitrogen management on no-till maize production following forage cover crops. **Agronomy Journal**, Wiley Online Library, v. 111, n. 2, p. 639–649, 2019.
- MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NASCIMENTO, C. A. C.; ROSOLEM, C. A.; MORETTI, L. G.; KURAMAE, E. E.; CANTARELLA, H. Early nitrogen supply as an alternative management for a cover crop-maize sequence under a no-till system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 1–14, 2021.
- MORAIS, L. P. V. X. C.; BONFIM-SILVA, E. M.; PACHECO, A. B.; ABREU, J. G.; SILVA, T. J. A. da; POLIZEL, A. C. Nitrogen and potassium in the cultivation of *piatã* grass in Brazilian cerrado soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 20, p. 984–989, 2016.
- MOREL, C.; PLÉNET, D.; MOLLIER, A. Calibration of maize phosphorus status by plant-available soil P assessed by common and process-based approaches. Is it soil-specific or not? **European Journal of Agronomy**, Elsevier, v. 122, p. 126174, 2021.
- NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; STONE, L. F. Degradação de palhada e liberação de nitrogênio por plantas de cobertura sob plantio direto. **Revista Caatinga**, p. 166–175, 2014.
- NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 39, p. 871–879, 2015.
- NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; FERNANDES, D. M.; RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; FURTADO, M. B. Efeito da antecipação da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto. **Agrária**, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2012.
- OGILVIE, C. M.; ASHIQ, W.; VASAVA, H. B.; BISWAS, A. Quantifying root-soil interactions in cover crop systems: a review. **Agriculture**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 3, p. 218, 2021.

- OLIVEIRA, S. M.; ALMEIDA R. E. M. AND PIEROZAN, C.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with brachiaria species to nutrient cycling. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, SciELO Brasil, v. 49, 2019.
- PACHECO, L. P.; LANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 46, n. 1, p. 17–25, 2011.
- PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A. F.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 35, p. 2029–2037, 2011.
- PAUL, E. A.; CLARK, F.E. **Soil Microbiology and Biochemistry**. 2. ed. London: [s.n.], 1989. 272 p.
- PAVINATO, P. S.; RODRIGUES, M.; SOLTAGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, Wiley Online Library, v. 109, n. 3, p. 1039–1047, 2017.
- PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A critical review on soil chemical processes that control how soil ph affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 6, p. 120, 2019.
- PEREIRA, A. P.; SSCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de ciências agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799–807, 2017.
- PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B.; BOLIEIRO, F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 132, p. 35–39, 2015.
- PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157–173, 2009.
- PINHO, R. G. Von; IRAN, D. B.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157–173, 2009.
- PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and n, p, k and ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 36, p. 1043–1053, 2012.
- PIVA, J. T.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L.; RIBEIRO, R. H.; BENSON, M. R.; BRANCALEONINI, E.; SCHMITT, D. E. Use of winter cover crops improves maize productivity under reduced nitrogen fertilization: a long-term study. **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 80, 2021.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. determination of critical n concentration. **Plant Soil**, v. 216, p. 65–82, 1999.

PONS, L. P.; PEARCY, R. W. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. **Physiologia Plantarum**, v. 92, n. 4, p. 636 – 644, 2006.

PONTES, L. S.; OLIVEIRA, F.; SANTOS, B. R. C.; CARPINELLI, S.; ASSMANN, T. S.; FONSECA, A. F. Decomposition and nutrient release of winter annual forages in integrated crop-livestock systems. **Sustainable meat and milk production from grasslands**, p. 325, 2018.

REGINATTO, D. C.; SILVA, J. A. G.; CARBONERA, R.; BIANCHI, C. A. M.; LIBARDONI, F.; KRAISIG, A. R.; CARVALHO, I. R.; ROSA, J. A.; PETER, C. L.; BASSO, N. C. F. Sustainable optimization of nitrogen uses in oat at sowing and top-dressing stages. **Australian Journal of Crop Science**, Southern Cross Publishers Lismore, NSW, v. 15, n. 1, p. 23–31, 2021.

RHEINHEIMER, D. S.; MARTINAZZO, R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SILVA, L. S. Amplitude no fósforo microbiano em um argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, SciELO Brasil, v. 30, n. 4, p. 561–567, 2008.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. [S.l.]: Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993.

ROCHA, K. F.; CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; ARRUDA, J. H.; MINATTO, E. A.; FAVERSANI, J. C. Épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho num latossolo vermelho muito argiloso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 273–284, 2014.

ROSA, C. B. C. J.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ROSA, M. S. M.; ENSINAS, S. C.; AMARAL, V. C.; ALTOMAR, P. H.; POTRICH, D. C.; MARTINEZ, M. A. Short-term effects of lime management in soybean no-tillage system implementation in brazilian savannah. **Australian Journal of Crop Science**, Southern Cross Publishers Lismore, NSW, v. 9, n. 3, p. 232–241, 2015.

ROSOLEM, C. A.; STEINER, F. Effects of soil texture and rates of k input on potassium balance in tropical soil. **European Journal of Soil Science**, Wiley Online Library, v. 68, n. 5, p. 658–666, 2017.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um latossolo vermelho do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 36, p. 1507–1515, 2012.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; M., Bettam; POLIDORO, J. C. Litter decomposition and nutrient release from brachiaria, sorghum and soybean in no-tillage areas in the cerrado region, goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1523–1534, 2013.

RYSCHAWY, J.; MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; DURU, M.; THERONDE, O. Designing crop-livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 5–20, 2017.

SALETTE, J.; HUCHÉ, L. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal principes, mise en oeuvre, exemples. **Fourrages**, v. 125, p. 3–18, 1991.

SANDINI, I. E.; MOARES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWSKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n. 1, p. 1315–1322, 2011.

SANTOS, F. C.; FILHO, M. R. Albuquerque; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. B. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 38, n. 6, p. 1855–1861, 2014.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ilp) sobre a fertilidade do solo em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, SciELO Brasil, v. 31, p. 719–727, 2009.

SARTOR, L.; 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**, v. 35, n. 1, p. 449–456, 2014.

SARTOR, L. R. **Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e potássio por plantas de papuã submetidas a diferentes intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. 115 f. Tese (Mestrado em Agronomia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2009.

SBCS, SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. [S.l.]: Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017.

SCHOMBERG, H. H.; FORD, P. B.; HARGROVE, W. L. Influence of crop residues on nutrient cycling and soil chemical properties. **Managing agricultural residues**. Lewis Publishers, Inc., Boca Raton, Florida, USA, p. 99–122, 1994.

SCHPERS, J. S.; RAUN, W. **Nitrogen in agricultural systems**. [S.l.]: Asa-CSSA-Sssa, 2008.

SHEORAN, R. S.; JOSHI, U. N. *et al.* Response of forage pearl millet (*pennisetum glaucum* L.) genotypes to different nitrogen levels. **Forage Research**, v. 42, n. 2, p. 115–118, 2016.

SILVA, R. L. L.; SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G.; GUTIÉRREZ, A. M. Marcha de absorção de nutrientes e cultivares de milho. In: **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. [S.l.: s.n.], 2016.

SOEST, P. J. Van. **Nutritional ecology of the ruminant**. [S.l.]: Cornell university press, 1994.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. Teixeira; ANDREOTTI, M.; Sá, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447–454, 2011.



SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. Teixeira; MOREIRA, A. Sources, rates and time of nitrogen application on maize crops under no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Taylor & Francis, v. 47, n. 19, p. 2200–2207, 2016.

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; JR, A. Oliveira; CALONEGO, J. C. Nutrients released by urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 3, p. 267–281, 2019.

TATTO, W. H. Estratégias sustentáveis para utilização de nitrogênio e potássio em sistema de integração lavoura - pecuária. 2021.

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

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; AANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho+ crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, SciELO Brasil, v. 31, n. 4, p. 647–653, 2009.

TELLES, T. S.; REYDON, B. P.; MAIA, A. G. Effects of no-tillage on agricultural land values in brazil. **Land Use Policy**, Elsevier, v. 76, p. 124–129, 2018.

THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. **L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires**. [S.l.]: Institut de L'élevage, 1999.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, p. 1609–1618, 2008.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 29, n. 4, p. 609–618, 2005.

TULLY, Kate; RYALS, Rebecca. Nutrient cycling in agroecosystems: Balancing food and environmental objectives. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, Taylor & Francis, v. 41, n. 7, p. 761–798, 2017.

VALICHESKI, R. R.; EGER, J. G.; STRUMER, S. L. K.; AMLER, F. D.; ESTEVÃO, F. J.; CRUZ, S. J. S. Cover crops and nitrogen fertilization-nutritional aspects and agronomic performance of mayze grown in sucession. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 16, 2020.

VARELA, M. F.; BARRACOARRACO, M.; GILI, A.; TABOADA, M. A.; RUBIO, G. Biomass decomposition and phosphorus release from residues of cover crops under no-tillage. **Agronomy Journal**, Wiley Online Library, v. 109, n. 1, p. 317–326, 2017.

VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. Benefícios da integração lavoura-pecuária. In: **Integração lavoura-pecuária**. [S.l.]: Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 143–170.

VIVIANI, C. A.; MARCHETTI, M. E.; VITORINI, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; GONÇALVES, M. C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 34, p. 61–67, 2010.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; ARAÚJO, L. L.; PEREIRA, G. L.; REZENDE, R. Decomposition of the remaining straw during soybean growing in the midwestern paraná, brazil. **REVISTA DE AGRICULTURA NEOTROPICAL**, v. 8, n. 4, p. 6534, 2021.

WIDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Wiley Online Library, v. 63, n. 6, p. 1636–1642, 1982.

XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, J. I. A.; SILVA, M. R. Decomposition and nutrient release dynamics of shoot phytomass of cover crops in the recncavo baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 41, 2017.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C.; HILLESHEIM, J. Adubao fosfatada e potássica da soja no cerrado. **Potafos: Informaes agronmicas**, n. 98, 2002.

ZHOU, B.; NIU, X.; ATA-UI-KARIM, S. T.; WANG, L.; DUAN, A.; LIU, Z.; LEMAIRE, G. Determination of the post-anthesis nitrogen status using ear critical nitrogen dilution curve and its implications for nitrogen management in maize and wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 113, 2020.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLEY, N.; NOLIN, M. C.; CLAESSENS, A. Relationship between p and n concentrations in corn. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 3, p. 833–841, 2007.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; LEFBVRE, L.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M. C.; PARENT, L. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. **Plant Production Science**, v. 102, n. 1, p. 241–250, 2010.

ZIKI, S. J. L.; ZEIDAN, E. M. I.; EL-BANNA, A. Y. A.; OMAR, A. E. A. Growth and forage yield of pearl millet as influenced by cutting date and nitrogen fertilization. **Zagazig Journal of Agricultural Research**, Zagazig University; Faculty of Agriculture, v. 46, n. 5, p. 1351–1361, 2019.

ZOLIN, Cornelio Alberto; MATOS, Eduardo da Silva; MAGALHÃES, Ciro Augusto de Souza; PAULINO, Janaina; LAL, Rattan; SPERA, Silvio Tulio; BEHLING, Maurel. Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the cerrado-amazon ecotone. **Acta Amazonica**, SciELO Brasil, v. 51, p. 102–112, 2021.